

Aus der Veterinär-Chirurgischen Klinik der Universität Zürich
(Direktor: Prof. Dr. A. Müller)

Der Abstand zwischen den Dornfortsätzen des Pferdes im Bereiche der Sattellage in Abhängigkeit von der Körperhaltung und der Bewegung

INAUGURAL-DISSERTATION

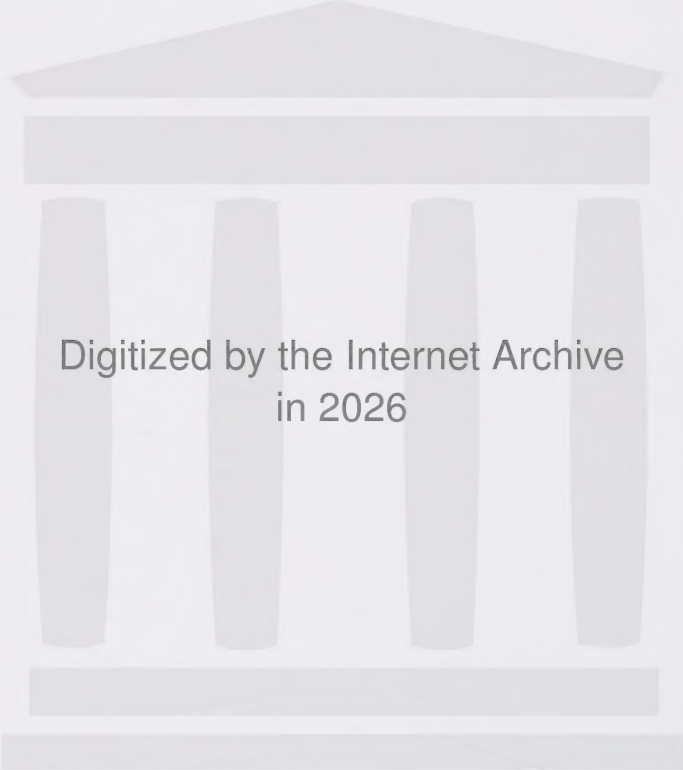
zur Erlangung der Doktorwürde
der Veterinär-Medizinischen Fakultät
der Universität Zürich

vorgelegt von
EUGEN FAUQUEX
Tierarzt
von Riex VD, Lutry VD und Zürich

Genehmigt auf Antrag von
Prof. Dr. A. Müller, Referent
Prof. Dr. J. Frewein, Korreferent

Zürich 1982
Zentralstelle der Studentenschaft

1983



Digitized by the Internet Archive
in 2026

Aus der Veterinär-Chirurgischen Klinik der Universität Zürich
(Direktor: Prof. Dr. A. Müller)

Der Abstand zwischen den Dornfortsätzen des Pferdes im Bereiche der Sattellage in Abhängigkeit von der Körperhaltung und der Bewegung

INAUGURAL-DISSERTATION

zur Erlangung der Doktorwürde
der Veterinär-Medizinischen Fakultät
der Universität Zürich

vorgelegt von
EUGEN FAUQUX
Tierarzt

von Riex VD, Lutry VD und Zürich

Genehmigt auf Antrag von
Prof. Dr. A. Müller, Referent
Prof. Dr. J. Frewein, Korreferent

Zürich 1982
Zentralstelle der Studentenschaft



Meinen Eltern gewidmet

INHALTSVERZEICHNIS

1. EINLEITUNG UND PROBLEMSTELLUNG
2. GRUNDLAGEN
 - 2.1. Anatomie
 - 2.2. Modellvorstellungen der Wirbelsäule
 - 2.3. Bisherige Bewegungsmessungen an der Pferdewirbelsäule
 - 2.4. Uebersicht über die Rückenleiden beim Pferd
3. EIGENE UNTERSUCHUNGEN
 - 3.1. Versuchstiere und Material
 - 3.1.1. Versuchstiere
 - 3.1.2. Messvorrichtung
 - 3.1.3. Instrumentarium
 - 3.2. Methode
 - 3.2.1. Pilotphase
 - 3.2.2. Vorbereitung zur Operation
 - 3.2.3. Operationsmethode
 - 3.2.4. Postoperative Behandlung
 - 3.2.5. Versuchsabschluss
 - 3.2.6. Auswertung
 - 3.3. Ergebnisse
4. DISKUSSION
5. SCHLUSSBEURTEILUNG
6. ZUSAMMENFASSUNG
7. BILDEIL
8. LITERATURVERZEICHNIS

1. EINLEITUNG UND PROBLEMSTELLUNG

Erkrankungen der Brust- und Lendenwirbelsäule spielen beim Reitpferd eine immer grösser werdende Rolle. Es handelt sich dabei vorwiegend um Entzündungen im Bereiche der Wirbelgelenke und der Dornfortsätze.

Im englischen Sprachbereich werden sich gegenseitig berührende und in der Folge entzündete Dornfortsätze als "Kissing spines" bezeichnet. Es kann kein Zweifel darüber bestehen, dass dieses sich Berühren beim Senken des Rückens stattfindet und dass beim Aufwölben des Rückens der Abstand zwischen den Dornfortsätzen sich vergrössert.

Beim Reitpferd wird der Rücken belastet. Würde diese Belastung im Normalfall ein Senken des Rückens bewirken, wären "Kissing spines" eine unvermeidbare Folge des Reitens, oder anders formuliert, das Pferd würde sich schlecht als Reittier eignen.

Bereits aus den ältesten Reitlehren und Darstellungen von Reitpferden geht hervor, dass bei der Ausbildung von Pferd und Reiter neben der Lenkbarkeit des Pferdes auch seine Befähigung zum Tragen angestrebt wurde. Dabei spielt, den Reitlehrern und Reitern bewusst oder unbewusst, das Anspannen der Bänder und Faszienplatten, die vom Hinterhauptsbein über den Hals, den Widerrist, den Rücken, die Kruppe bis hinunter zum Fersenbein am Sprunggelenk des Pferdes reichen, eine wesentliche Rolle. Das wird durch Strecken oder Aufwölben des Halses, Beizäumung des Kopfes und Untertreten der Nachhand erreicht.

Unglückliche Theorien über die Konstruktion des Pferderückens haben zunächst die Wissenschaftler diese Zusammenhänge vergessen lassen. Die Auswirkungen für die Praxis blieben nicht aus, indem im Pferdesport ungeeignete Methoden sich ausbreiteten und selbst in der Hundezucht die Theorie, der Rücken sei wie ein Pfeilbogen konstruiert, zu Entgleisungen führte: Wenn heute ein Deutscher Schäferhund eine ausgeprägte Kyphose zeigt, wird er in der Zucht vorgezogen, mit der Qualifikation

"Gut gespannter Rücken".

In der vorliegenden Arbeit wird aufgrund statistischer Erhebungen von JEFFCOTT (1980 a) über Vorkommen und Lokalisation der "Kissing spines" der Abstand zwischen den Dornfortsätzen T_{15} und T_{16} gemessen und in Beziehung zur Körperhaltung und zur Bewegung gebracht.

2.1. Anatomie

Die nachfolgenden Angaben stellen eine Zusammenfassung der Arbeiten von ELLENBERGER/BAUM (1974), NICKEL, SCHUMMER, SEIFERLE (1977) und STECHER (1962) dar.

Die Wirbelsäule des Pferdes besteht aus einer Gliederkette von ca. 56 Wirbeln. Alle haben einen ähnlichen morphologischen Aufbau, können sich aber in Grösse und Form je nach Lokalisation stark unterscheiden. Auch die Anzahl der einzelnen Wirbel in den verschiedenen Abschnitten kann variieren :

Halswirbelsäule	(C)	7
Brustwirbelsäule	(T)	17- <u>18</u> -19
Lendenwirbelsäule	(L)	5- <u>6</u>
Sakralwirbelsäule	(S)	4- <u>5</u> - 6

Die Wirbelsäule beim normal stehenden Pferd ist von der Seite betrachtet nicht gerade, sondern lässt drei Krümmungen erkennen :

- die dorsal-konvexe Kopf-Halskrümmung
- die dorsal-konkave Hals-Brustkrümmung
- die schwach dorsal-konvexe Brust-Lendenkrümmung.

Die Dornfortsätze T_1 bis T_{15} haben eine nach caudal, diejenigen von T_{17} bis L_6 eine nach cranial gerichtete Neigung. T_{16} ist der Wechselwirbel und hat einen senkrecht stehenden Dornfortsatz. Im mittleren Rückenabschnitt (T_{11} - T_{18}) haben die Dornfortsätze eine leicht schnabelähnliche Form.

Die Drehachse der Wirbelsäule verläuft durch die Wirbelkörper (KRUEGER, 1939, KUMMER, 1959, 1960). Zwischen den einzelnen Körpern liegen die Zwischenwirbelscheiben, die im mittleren Wirbelsäulenbereich dünner, im vorderen und hinteren dagegen dicker ausgebildet sind. Die Wirbelsäule wird einerseits durch die Zwischenwirbelscheiben, andererseits durch die Rumpfmuskulatur und verschiedene Bandstrukturen stabilisiert (Abb. 1 und 2).

Die Muskulatur der Hals-Brust- und Lendenwirbelsäule lässt sich einteilen in :

- a) kurze, schwache Muskeln, die von Segment zu Segment oder nur zwischen wenigen Wirbeln verkehren und
- b) lange, kräftige Muskelkörper, die sich über grössere Wirbelsäulenabschnitte erstrecken und durch kurze Muskel- oder Sehnenzacken mit den einzelnen Wirbeln verbunden sind.

Die Aufrichter, Seitwärtsbieger und Dreher der Hals-, Brust- und Lendenwirbelsäule liegen im wesentlichen dorsolateral der Wirbelsäule. Dagegen ist die Zahl der Abwärtsbieger der Wirbelsäule klein und auf das Halsgebiet beschränkt. Zwar kommen auch an der Unterseite der hinteren Brust- und der ganzen Lendenwirbelsäule kräftige Muskeln vor, die ein dorsal-konvexes Abbiegen der Lendenpartie und damit des Rückens ermöglichen. Sie finden aber entweder am Becken oder am Oberschenkelknochen Ansatz und werden deshalb zur Beckengürtelmuskulatur gerechnet. Vollständig frei von Muskeln ist die Unterseite der Wirbelsäule nur im mittleren Brustbereich.

2.2. Modellvorstellungen der Wirbelsäule

Um die Gesamtkonstruktion der Wirbelsäule der quadrupeden Säugetiere zu erklären, vergleicht man die Wirbelsäule mit einer Brücke. Ueber diese Brückenkonstruktion existieren zwei verschiedene Auffassungen. Theorie 1 wird vertreten durch KRUEGER (1939) und ZSCHOKKE (1892), Theorie 2 durch BARTHEZ (1798), SLIJPER (1946) und STRASSER (1913).

Diese Theorie 2 wird durch mathematische Berechnungen von BADOUX (1975) präzisiert und in der neuesten Literatur als Grundlage betrachtet.

Prinzip	Stellung der Dornfortsätze	Vorteile	Nachteile
1 - Wirbelsäule entspricht einem geraden Brückenträger, Rumpf = Gitter- oder Fachwerkbrücke - Gliedmassenpaare sind der vordere und hintere Brückenpfiler, die fest mit der Unterlage verbunden sind - Dornfortsätze und Wirbelkörper haben die Funktion von Trageelementen - Bänder und Muskeln nehmen Funktion von Zugelementen ein (vgl. Abb. 3)	Dornfortsätze funktionieren als Streben. Cranialer Anteil : Stellung nach caudal. Caudaler Anteil : Stellung nach cranial In der Mitte berühren sich die Spitzen und verhindern so ein Durchsacken der Brücke	- können Neigung der Dornfortsätze beim Pferd erklären	- obere Elemente einer Brücke sollten druck- und nicht zugfest sein (SLIJPER 1946) - die beiden mittleren Dornfortsätze berühren sich nicht. - Stellung der Dornfortsätze bei anderen Säugetieren (Rind) - bei Gewichtseinwirkung kippt die Brücke, da die Horizontal- und Vertikalkräfte die Extremitätenpaare wegdrücken
2 - Wirbelsäule entspricht einer parabolischen Bogen-Sehnenbrücke. <u>Wirbelkette</u> = Bogen; Brustbein, Bauchmuskulatur, Linea alba = Sehne. Spannung des Bogens durch Zwischenwirbelscheiben, Bänder und Rückenmuskulatur. Abflachung des Bogens wird durch die Sehne verhindert. Halswirbelsäule einseitig unterstützt Kragarm. Konstruktions Elemente umgekehrt: Zug Elemente oben und Druckelemente unten. (vgl. Abb. 3)	Dornfortsätze sind Muskelhebelarme, Richtung entspricht der Richtung der resultierenden Kraft aller angreifenden Muskeln. Nach SLIJPER (1946) nehmen die Dornfortsätze die Stellung ein, für die sie einen minimalen Materialaufwand benötigen.	- auf Brückenpfiler wirken nur vertikale Kräfte - Stellung der Dornfortsätze bei versch. Säugetieren kann erklärt werden.	- wenn vorderer Brückenpfiler abgehoben wird, hat der Bogen die Tendenz, sich noch mehr zu biegen. In diesem Fall müsste die Konstruktion wie bei der Halswirbelsäule sein. - nicht alle Säugetiere haben eine gebogene Wirbelsäule.

Prinzip der Brückenkonstruktion, Funktion der Dornfortsätze, Vor- und Nachteile der Theorien in der Ansicht der verschiedenen Autoren.

2.3. Bisherige Beweglichkeitsmessungen an der Pferdewirbelsäule

WENGER (1915) war einer der ersten, der Beweglichkeitsmessungen an der Wirbelsäule von toten Pferden durchführte. An 12 Skeletten fand er heraus, dass - in vertikaler Bewegungsrichtung gesehen - die Halswirbelsäule besonders zwischen C₇ und T₁ stark, die Brustwirbelsäule nach caudal abnehmend und die Lendenwirbelsäule überhaupt nicht beweglich ist. Aehnliche Resultate ergaben sich in der horizontalen Bewegungsrichtung, wobei er bei der Brustwirbelsäule von T₁₃ bis T₁₇ einen massiven Abfall der Beweglichkeit registrierte und die Lendenwirbelsäule wiederum als unbeweglich taxierte. Geringe Rotationsbewegungen fand er in der Hals- und Lendenwirbelsäule, erhöhte dagegen in der Brustwirbelsäule.

KRUEGER (1939) definierte vier Bewegungsrichtungen

- | | |
|-----------------|--------------------------|
| - Dorsoflexion | Einbiegen nach dorsal |
| - Ventroflexion | Einbiegen nach ventral |
| - Lateroflexion | Einbiegen nach der Seite |
| - Torsion | Drehung |

und unterschied in Anlehnung an VIRCHOW (1914) zwei verschiedene Wirbeltypen in bezug auf die Art ihrer cranialen und caudalen Gelenkfortsätze :

- | | |
|--------------------|---|
| - tangentialer Typ | Brustwirbel T ₂ - T ₁₆ |
| - radialer Typ | Lendenwirbel, Halswirbel, 1., 17. und 18. Brustwirbel |

Anhand von Beweglichkeitsmessungen an Präparaten ordnete er dem tangentialen Typ nur Lateroflexion und Torsion zu, dem radialen Typ dagegen nur Dorso- und Ventroflexion.

Mit Hilfe von Filmaufnahmen konnte er zeigen, dass im Schritt die stärksten Wirbelsäulenschwingungen einerseits an der Brustwirbelsäule in seitlicher Richtung, andererseits an der Lendenwirbelsäule in dorso-ventraler Richtung erfolgten. Im Trab und Galopp in gerader Fortbewegungsrichtung stellte er keine Seitenbiegung der Brustwirbelsäule fest. Die Dorso- und Ventralschwingungen der Lendenwir-

belsäule waren gemäss seinen Resultaten im Trab und Galopp geringer als im Schritt. Die massiven Seitenschwingungen beim Schritt erklärte er mit einer fortwährenden Seitenverschiebung des Schwerpunktes; im Trab und Galopp wird die Hauptstützarbeit von diagonalen Gliedmassen geleistet.

SLIJPER (1946) kam bei seinen umfassenden Untersuchungen an der Wirbelsäule von Säugetieren zum Ergebnis, dass beim Pferd die grösste Beweglichkeit im letzten Halswirbelsäulenbereich und im Uebergang Lende-Kreuz in dorso-ventraler Richtung möglich ist. Die hintere Brust- und Lendenwirbelsäule beschrieb er als beschränkt beweglich in dorsokonvexer Richtung. Als zur Seite stark beweglich taxierte er die Halswirbelsäule zwischen C₄ und C₇.

GRAY (1968) verglich die Beweglichkeit der Wirbelsäule zwischen Carnivoren und Ungulaten im Galopp. Er zeigte dabei, dass beim Pferd eine leichte dorso-ventrale Bewegung in der Halswirbelsäule stattfindet, während der übrige Rumpfabschnitt völlig starr bleibt.

BADOUX (1975) beschrieb das Bauprinzip des Rumpfes ebenfalls als komplizierte Bogen-Sehnen-Konstruktion, wobei er zusätzlich noch die einzelnen Muskelzüge in sein Modell miteinbezog. Neben Bewegungsmöglichkeiten der Wirbelsäule in dorso-ventraler, in lateraler Richtung und Beweglichkeit in Form von Torsion postulierte er zudem noch Bewegungsmöglichkeiten in Form von vertikalem und transversalem gegenseitigen Verschieben zweier Wirbel und ein sich Dehnen oder Zusammenpressen der Wirbelsäule in der Art einer Handorgel. Mit Hilfe von Kräfteparallelogrammen erklärte er das Zusammenspielen der Rumpf-Schultergürtel- und Beckengürtelmuskulatur und deren Wirkung auf die Wirbelsäule.

ROONEY (1979) führte die Erkrankungen der Halswirbelsäule und im Bereich des Lumbosacralgebietes auf eine vermehrte Beweglichkeit zurück und unterstrich die wichtige Funktion der Beweglichkeit der Halswirbelsäule bei der Fortbewegung.

JEFFCOTT und DALIN (1980) massen an fünf frischen Pferdekadavern die Abstände der Dornfortsätze bei maximaler Ventroflexion und bei maximaler Dorsiflexion im Wirbelsäulenabschnitt T_{10} bis L_2 und erhielten Werte von 1,1 - 6,0 mm bei Ventroflexion und 0,8 - 3,8 mm bei Dorsiflexion. Für die Gesamtflexibilität des Rückens erhielten sie einen Wert von 53,1 mm. Caudal des Rückenmittelpunktes (T_{13}) war keine Lateral- oder Rotationsbewegung möglich. Sie postulierten weiter die grösste dorso-ventrale Beweglichkeit der Thoracolumbalsäule im Lumbosacralgelenk. Beim Springen erfolgt nach ihrer Meinung in der Brust-Lendenwirbelsäule eine maximale Ventroflexion über dem Sprung und eine maximale Dorsiflexion beim Landen. Die Beweglichkeit zwischen zwei Wirbeln der Brust-Lendenpartie bleibt aber auch bei dieser Beanspruchung gering.

2.4. Übersicht über die "Rückenleiden" beim Pferd (in Anlehnung an L. B. Jeffcott)

A.) Direkte Ursachen für Rückenleiden

Kategorie	spezielle Ursachen	Autoren
Verformung der Wirbelsäule	- Abnormale Krümmungen der Wirbelsäule, Kyphose, Lordose, Skoliose - Synostosen (angeb. Wirbelverwachsungen)	BARSOTTI (1975), CROWHURST (1975), HERROD-TAYLER (1967), JACKSON (1975), JEFFCOTT (1975a, 1975b, 1978, 1979a, 1979b, 1980a, 1981), ROONEY u. PRICKETT (1967), STECHER (1961, 1962)
Weichteilschäden	- Zerrungen des M. longissimus dorsi - Zerrungen der inneren Lendenmuskeln - Zerrungen des Lig. supraspinale - Zerrung im Kreuzdarmbein-Bereich - Kreuzschlag - Tying-up Syndrom (Myopathie) - Muskelatrophie	ADAMS (1974), BARSOTTI (1975), CROWHURST (1975), JACKSON (1975), JEFFCOTT (1975a, 1975b, 1978, 1979a, 1979b, 1980a, 1981), JEFFCOTT u. DALIN (1980), ROONEY et al. (1969)
Frakturen	- Wirbelkörper - Dornfortsätze - Becken	ADAMS (1974), BARSOTTI (1975), JEFFCOTT (1975a, 1975b, 1978, 1979a, 1979b, 1980a 1981), ROONEY et al. (1979)

Kategorie	spezielle Ursachen	Autoren
andere Knochenveränderungen an der Brust-Lendenwirbelsäule	- Spondylose und Spondylarthritis - Kissing spines - Osteoarthritis / Verwachsungen der Dorn-, Quer- und Gelenkfortsätze	ADAMS (1974), BARSOTTI (1975), CROWHURST (1975), JEFFCOTT (1975a, 1975b, 1978, 1979a, 1979b, 1980a, 1981), JEFFCOTT u. HICKMANN (1975), ROBERTS (1968), ROONEY (1979), VON SALIS u. HUSKAMP (1978), TOUCEDO (1972)
Tumoren		BARSOTTI (1975)
Nervenläsionen	- Neuritis caudae equinae - Ataxie - Shivering (Neuromyopathie)	ADAMS (1974), BARSOTTI (1975), CROWHURST (1975), HEBELER (1977), JEFFCOTT (1980a, 1981), MITCHEL (1933), ROONEY (1972, 1979)
Infektionen	- Gelenke der Wirbelsäule (v. a. beim Fohlen)	ROONEY (1979)

B.) Indirekte Ursachen bei "Rückenleiden"

Kategorie	spezielle Ursachen	Autoren
Management	- schlechte Ausbildung und Rittigkeit	BARSOTTI (1975), JEFFCOTT (1975a, 1978, 1979a, 1979b, 1980a, 1981)
Verschiedene Erkrankungen	- Hautläsionen, Druckstellen und Dasselbeulen in der Sattellage - Kopfschütteln/ Zahnerkrankungen	JEFFCOTT (1975a, 1978, 1979a, 1979b, 1980a, 1981)
andere Ursachen von Lahmheiten	- Hüftgelenk - Kniegelenk - Sprunggelenk - tiefere Lokalisation	CROWHURST (1975), JEFFCOTT (1975a, 1979a, 1979b, 1980a, 1981)
Thrombose	-- der A. iliaca externa	BARSOTTI (1975), CROWHURST (1975)
"Temperament" des Pferdes	- Ueberempfindlichkeit - Gurtenzwang	JEFFCOTT (1979a, 1979b, 1980a, 1981)

3. EIGENE UNTERSUCHUNGEN

3.1. Versuchstiere und Material

3.1.1. Versuchstiere

Als Versuchspferde dienten uns drei Tiere, die sich nach Alter, Typ und Rasse unterschieden.

Proband	Beschreibung	frühere Verwendung
Pferd 1	St., br, 1971, 160 cm, Irländer	Freizeitpferd
Pferd 2	St., br, 1961, 157 cm, Freiburger	Zugpferd
Pferd 3	St., F, 1973, 160 cm, Württemberger	Freizeitpferd

Trotz der verschiedenen früheren Verwendungsart und des stark differierenden Ausbildungsgrades konnten alle drei Pferde an der Hand und an der Longe gearbeitet werden. Aus Altersgründen wurde bei der Freiburgerstute auf eine Galopparbeit verzichtet. Die Pferde wurden über die ganze Zeit in Boxen gehalten und traditionell mit Heu und Hafer gefüttert. Vor der Operation wurden sie täglich longiert oder wenigstens auf den Sandpaddock geführt.

3.1.2. Messvorrichtung

Für die Messung der Abstandsänderung wurde eigens eine Messvorrichtung konstruiert, deren Form und Grösse auf der Abb. 4 ersichtlich sind. Die Messvorrichtung besteht aus dem eigentlichen Messfühler und einem Anschlag. Der Messfühler wurde am T_{16} und der Anschlag am T_{15} mit je drei AO*-Schrauben befestigt (Abb. 5). Die Kammer des Messfühlers beinhaltet einen Z-förmigen Federstahlstreifen und einen Stahlstift, der die Kammer durch ein Bohrloch in der dem Anschlag gegenüberliegenden Kammerwand verlässt. Der Stahlstift stellt die bewegliche Verbindung zwischen der Messkammer und dem Anschlag dar. Nähern sich nun die beiden Dornfortsätze einander, so drückt der Stahlstift auf den Z-förmigen Stahlstreifen und komprimiert diesen im Sinne einer Feder. Im entgegengesetzten Falle

* AO = Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthese

dehnt sich die Feder und das Z streckt sich in seine Ausgangsstellung. Zusätzlich ist der Stahlstift von einem Silikonschlauch umhüllt, der das Eindringen von Gewebsflüssigkeit in die Kammer verhindern soll.

Um diese Abstandsänderung nun messen zu können, wurde ein Dehnungsmessstreifen (DMS ¹⁾) auf das Diagonalstück der Z-Feder geklebt (Abb. 6). Beim Komprimieren der Feder verändert der DMS unter Dehnung in seiner Längsachse seinen elektrischen Widerstand. Diese Widerstandsänderungen werden durch einen Brückenverstärker ²⁾ (mit automatischem Nullabgleich) in Spannungsänderungen umgewandelt und einem Telemetriesender ³⁾ zugeführt. Der Brückenverstärker und der Telemetriesender sind in Satteltaschen hinter dem Widerrist des Pferdes mit einer Gurte befestigt (Abb. 7). Die vom Telemetriesender abgegebenen Signale werden von einem Vierkanaltelemetrieempfänger ⁴⁾ aufgenommen und einem Einkanal-Thermoschreiber ⁵⁾ zugeführt. Die Schaltung der ganzen Messeinrichtung ist im Blockschema in Abb. 8 dargestellt.

Um die Feder mit dem aufgeklebten DMS auf Linearität zu prüfen, wurden die Messvorrichtungen auf einer Drehbank geeicht. Die erhaltenen Spannungsänderungen in Relation zur Stauchung oder Dehnung der Feder wurden graphisch aufgezeichnet (Abb. 9). Nach Eichung der Messfühler wurden diese im Gassterilisator ⁶⁾ sterilisiert und vor der Implantation mindestens 36 Stunden ausgelüftet.

Da die Messelemente am liegenden narkotisierten Tier mit leicht gestreckter Kopfhaltung (Intubationsnarkose) implantiert wurden, musste man annehmen, dass der so vorliegende Spalt zwischen den Dornfortsätzen T_{15} und T_{16} sich beim stehenden Tier verengen werde (Gewicht des Rumpfes). Weiter galt es zu

1) Typ CEA, 62 UB, 120 Ohm, MICRO MEASUREMENTS, Michigan, USA

2) Brückenverstärker, achtkanalig, Hogg, Zürich

3) Hellige TS 15.02, Freiburg im B., BRD

4) Hellige Demodulator, Cat. No.: 12033 496

5) Ein-Kanal-Thermoschreiber, 1% Genauigkeit, dc bis 50 Hz, Modell

R 1-5 D.C.P., Parks Electronics Laboratory, Baeverton, Oregon, USA

6) Kartuschen-Gassterilisator KGS 2590 (Aethylenoxid), Münchner-Medizin-Mechanik

berücksichtigen, dass unser Gerät in der Ruhestellung auf eine Mittelposition eingestellt werden musste, um sowohl maximale Dehnungen als auch Stauchungen messen zu können. Aus diesem Grunde wurde ein Vorspannbügel konstruiert, an den man eine Messvorrichtung kurz vor der Implantation in der gewünschten Vorspannung befestigen konnte (Abb. 10).

Da die Lateralflächen der Dornfortsätze nicht flach, sondern im Querschnitt leicht oval sind, wurden an den 4 Ecken der Auflageflächen des Messfühlers und des Anschlages Bohrlöcher gebohrt, um nötigenfalls Nivellierschrauben während der Implantation anbringen zu können.

3.1.3. Instrumentarium

Als Operationsinstrumentarium wurden neben dem Standard AO-Set ("Kleinfragment") ein verlängerter 2 mm-Bohrer, ein verlängerter Imbusschlüssel und ein Trokar mit zwei passenden Trokarröhlen verwendet (Abb. 11).

3.2. Methode

3.2.1. Pilotphase

Um eine grobe Vorstellung der "Rückenmechanik" bei verschiedenen Kopf-Hals-haltungen einerseits und Beckenstellungen andererseits zu bekommen, konstruierte ich ein einfaches Rückenmodell aus Sperrholz im Masstab 1 : 2. In dieser Konstruktion konnten natürlich nur knöchernes Gerüst (Wirbelkörper, Dornfortsätze) und ein paar wenige passive Haltestrukturen (Zwischenwirbelscheiben, Bänder) berücksichtigt werden.

3.2.2. Vorbereitung zur Operation

Palpatorisch ist es bei mageren Tieren möglich, von caudal her abzählend, den Zwischenspalt der Dornfortsätze T_{15} und T_{16} zu erreichen. Der so gefundene Zwischenspalt wurde mit einem Röntgenmarkierer in der Rückenmedianen gekennzeichnet. Da aber die Dornfortsätze von einem starken Band,

dem Lig. supraspinale, überspannt sind, ist dieser Spalt nicht immer eindeutig aufzufinden. Aus diesem Grunde wurde ebenfalls von caudal her die einzelnen Rippen palpiert und danach auf die 12. und 14. Rippe im Niveau leicht versetzt und auf zwei Drittel Höhe der rechten bereits gescherten Brustseite zwei Röntgenmarkierer L und R geklebt. Mit einem Siemens Röntgengerät (Einstellung 66-73 kV/80 mAs) wurde dieser Körperabschnitt aufgenommen. Auf den erhaltenen Röntgenbildern konnte man aufgrund der bezeichneten Rippen die einzelnen Wirbelkörper genau bestimmen und die Richtigkeit des palpatorisch erzielten Zwischenspalts zwischen T₁₅ und T₁₆ bestätigen bzw. korrigieren. Die somit eindeutig erhaltene Stelle T_{15/16} wurde nun auf der Haut mit Filzschreiber markiert.

3.2.3. Operationsmethode

Die Probanden erhielten mindestens 12 Stunden vor der Operation kein Futter und wurden am nächsten Morgen nach üblicher Prämedikation (Vetranquil¹⁾, Atropin²⁾) mit Myolaxin³⁾ abgelegt. Darauf wurden die Tiere intubiert und mit O₂, Druckluft und Halothan in Narkose gelegt. Die Tiere wurden in linker Seitenlage (technische Gründe des OP-Raums) so positioniert, dass die Wirbelsäule im Operationsgebiet, gemessen mit der Wasserwaage an den vordestehenden Dornfortsätzen, absolut waagrecht lag.

Der operative Zugang wurde von ROBERTS (1968) übernommen. Dabei wurde über den bestimmten Dornfortsätzen ein nach lateral führender, bogenförmiger Schnitt (Sehnenlänge ca. 25 cm) angelegt. Gemeinsam mit der Subcutis wurde der Hautlappen bis über die Dornfortsätze losgetrennt und zurückgeklappt. Beim dritten Pferd wurde der Zugang leicht modifiziert, indem ein ca. 25 cm langer, gerader Hautschnitt ca. 1 cm rechts paramedian ausgeführt wurde. Darauf wurde knapp rechts von den Dornfortsätzen das Lig. supraspinale durchgeschnitten und eine Präparation an die Lateralflächen der Dornfortsätze T₁₅ und T₁₆ vorgenommen. Mit dem Raspatorium wurden alle ansetzenden Muskelfasern entfernt, um eine möglichst glatte Auflagefläche für die Messelemente

1) 10 mg/100 kg, Acepromacin, 1%ig, Adroka AG, Allschwil

2) 2 ml/100 kg, 1% ig, Kantonsapotheke Zürich

3) 80 ml/100 kg, 15%ig, Chassot & Cie AG, Köniz Bern

zu erhalten. Danach wurde die Messvorrichtung unter digitaler Kontrolle in Position gebracht. Die Bohrlöcher und A0-Schrauben wurden durch die eigens konstruierten Trokarhülsen von weiter lateral angebracht, da von vertikal keine Möglichkeit bestand, im rechten Winkel zur Lateralfläche des Dornfortsatzes zu arbeiten. Unter Fingerkontrolle wurde der verlängerte Bohrer in die von der Messvorrichtung vorgegebenen Löcher geleitet und so nacheinander die ersten 4 Bohrlöcher gebohrt. Daraufhin wurden in die Bohrlöcher sofort durch die gleichen Bohrhülsen die A0-Schrauben¹⁾ gesetzt und festgeschraubt. Um das ohnehin beachtliche Trauma nicht noch unnötig zu vergrössern, wurden für die drei Löcher eines Messelementes jeweils die gleiche Bohrhülse verwendet, die bis zum Setzen der letzten Schraube an Ort und Stelle belassen wurde. Nachdem die vier äusseren Schrauben befestigt waren, wurde der Vorspannbügel gelöst und die zwei nun frei gewordenen Löcher für eine fünfte und sechste Schraube verwendet. Durch die eine Bohrhülse wurde eine Redondrainage direkt an den Messfühler herangeführt, um die postoperativen Blutungen abzusaugen (Pferd 1 und 2). Das längsgespaltene Lig. supraspinale sowie die durch die Bohrhülsen entstandenen Löcher in der Faszia wurden mit Vicryl-Einzelknopfnähten²⁾ wieder zusammengenäht. Aufgrund der ausserordentlich grossen Hautspannung und der dünnen Subcutis konnte keine subcutane Naht angebracht werden. Der Hautlappen wurde zuerst mit Entlastungs-Einzelknopfnähten³⁾ in die ursprüngliche Position gebracht und anschliessend mit Einzelknopfnähten⁴⁾ befestigt. Die vorgängig angelegte Redondrainage half nun dabei, die ohnehin grosse Spannung am Hautlappen durch das Absaugen der subcutanen Blutungen nicht noch weiter zu vergrössern (Pferd 1 und 2). Bei Pferd 3 wurde aufgrund einer anderen Schnittführung auf eine Redondrainage verzichtet und die postoperative Blutung durch einen Druckverband verringert. Die Narkosedauer schwankte zwischen 2¹/₄ und 3 Stunden.

1) 2,7 mm Kortikalisschraube mit 2,5 mm Innensechskant, Länge 16 und 18 mm, Abteilung Synthes, Institut Stramann AG

2) atraumatisch, 4 metric, ETHICON

3) Supramid, traumatisch, 3,5, SSC, Neuhausen

4) atraumatischer Supramidfaden, 3,5 metric, SSC, Neuhausen

3.2.4. Postoperative Behandlung

Die Tiere wurden bis zu Versuchsbeginn antibiotisch¹⁾ und je nach Bedarf mit einem Analgetikum²⁾ (Pferd 2) versorgt. Nach drei Tagen wurden die Redondrainagen (Pferd 1 und 2) entfernt. Die Entlastungsnähte und die Hautnaht wurden bis zum Versuchsende belassen.

Im Verlauf der ersten Woche wurde die Operationsstelle am stehenden Pferd geröntgen und so der Sitz des Messfühlers überprüft.

Die ersten Messungen wurden am 9. Tag (nach 8 Tagen Boxenruhe) vorgenommen. Dabei wurden zuerst nur die Kopf- und Halshaltungen im Stand verändert und das Pferd im Schritt hin und her geführt. Sukzessive wurden die Anforderungen an den Probanden gesteigert, so dass nach sechs Tagen Daten über Schritt und Trab an der Hand und Longe, über Galopp an der Longe und über einen kleinen Sprung zur Verfügung standen.

3.2.5. Versuchsabschluss

Frühestens fünf Tage nach Versuchsende wurden die Pferde geschlachtet und die Messfühler herauspräpariert und untersucht.

Messfühler von Pferd 1 :

Der Verbindungsschlauch zwischen den beiden Elementen war stark beschädigt. Im Gehäuseinnern fand man Flüssigkeit und verschiedene Gerinnsel. Der DMS hatte sich gelöst.

Messfühler von Pferd 2 und 3 :

Ebenfalls war der Verbindungsschlauch leicht beschädigt. Im Gehäuseinnern war bei beiden Flüssigkeit anzutreffen. Ferner war der Stahlstift beinahe ganz ins Gehäuse gedrückt und festgeklemmt. Beim Zurückführen der Z-förmigen Stahlfeder begann sich der mit Kautschuk abgedeckte DMS abzulösen.

1) Duoprim, 1 ml/15 kg, Schweiz. Serum- und Impfinstitut AG, Bern

2) Butadion, 4g/Pferd, Streuli und Co AG, Uznach

Somit konnte in keinem der drei Fälle eine Nacheichung erfolgen. Aufgrund der regelmässigen, periodischen Ausschläge während der Versuche muss aber angenommen werden, dass der DMS sich erst nach den Messungen losgelöst hatte. Bei Pferd 2 und 3 ist vorstellbar, dass die Totalstauchung der Z-förmigen Stahlfeder im Zusammenhang mit der Schlachtung steht. Beide Pferde sind in gleicher Art und Weise nach dem Bolzenschuss in sich zusammengebrochen (Pferd 1 stürzte auf die linke Seite) und dabei dürfte eine maximale Dorsiflexion erfolgt sein, die zu einer Stauchung der Z-förmigen Stahlfeder und einem Festklemmen des Stahlstiftes führte.

3.2.6. Auswertung

Die maximalen Ausschläge pro Periode (= sich wiederholende, charakteristische Kurveneinheit, die einer kompletten Fussfolge in jeder Gangart entspricht) wurden auf der Kurve ausgemessen (x_{mm}) und daraufhin mit Hilfe der folgenden Formel in die jeweiligen reellen Abstandsänderungen (y_{mm}) zwischen den Dornfortsätzen $T_{15/16}$ umgerechnet und über einen Kurvenstreifen gemittelt.

$$(Formel) \quad y_{mm} = \frac{x_{mm} \cdot k_2 \cdot k_3}{k_1}$$

wobei k_1 = die Steigung der Eichkurve
 k_2 = die Brückenverstärkung
 k_3 = der Abschwächer am Schreiber darstellen.

Filmaufnahmen :

Um die Abstandsänderungen in Relation zum Bewegungsablauf in den verschiedenen Gangarten setzen zu können, filmten wir das sich bewegendes Pferd und der die Abstandsänderungen aufzeichnende Schreiber gleichzeitig mit zwei synchron geschalteten Videokameras ¹⁾. Auf dem Fernsehschirm konnten mit Hilfe von Einzelbildern die einzelnen Kurvenausschläge den verschiedenen Bewegungsphasen zugeordnet werden.

1) Marke Philips, H 20, und Ikegami, 25 Bilder pro Sekunde

3.3. Ergebnisse

Ergebnisse zur Frage: Wie gross sind die Abstandsveränderungen
zwischen zwei benachbarten Dornfortsätzen ?

ABSTANDSMESSUNG BEI SICH ÄNDERNDER KOPFHALTUNG AM STEHENDEN PFERD

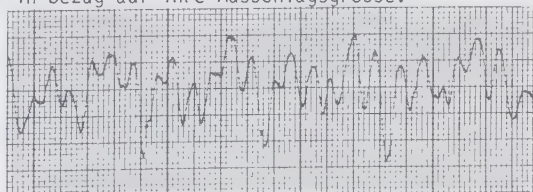
Haltung	Symbol	Beschreibung
Normalhaltung	N	mehr oder weniger gestreckte Halslinie über der Horizontalen
Hochhaltung	O	dorsal konkave Halslinie, Hirschhals
Tiefhaltung	U	dorsal konvexe Halslinie, Fresshaltung
Linkshaltung	L	extremes Abbiegen des Kopfes möglichst bis an die linke Brustwand
Rechtshaltung	R	extremes Abbiegen des Kopfes möglichst bis an die rechte Brustwand.

Die erhaltenen Mittelwerte der Pferde 1 bis 3 sind in Abb. 12, die Gesamtmittelwerte in Abb. 13 graphisch dargestellt.

ABSTANDSMESSUNG IM SCHRITT (AN HAND UND LONGE)

Die Schrittkurven zeigten bei allen drei Pferden die gleiche Charakteristik und unterschieden sich nur in bezug auf ihre Ausschlagsgrösse.

Schrittkurve :



Messtechnik :



In der folgenden Tabelle sind die minimalen, die maximalen und die Gesamtmittelwerte der einzelnen Pferde im Schritt aufgeführt. Da die Abstandsänderungen der im Schritt geführten und longierten Pferde sich nicht unterschieden, werden sie gemeinsam tabelliert. (vgl. Abb. 14 u.15)

Proband	Anzahl Messungen	Mittelwerte von min. - max. Abstandsänderung	Gesamtmittelwerte
Pferd 1	26	0,09 - 0,60 mm	0,28 mm
Pferd 2	40	0,06 - 0,34 mm	0,17 mm
Pferd 3	36	0,08 - 0,40 mm	0,20 mm

Neben den individuellen Unterschieden ergaben sich aber auch bedeutende tempoabhängige Variationen. So waren die Abstandsänderungen im verkürzten Schritt minimal, im schnellen Schritt dagegen maximal.

Proband	verkürzter Schritt	schneller Schritt
Pferd 1	0,09 - 0,11 mm	0,50 - 0,60 mm
Pferd 2	0,06 - 0,10 mm	0,20 - 0,34 mm
Pferd 3	0,08 - 0,10 mm	0,20 - 0,40 mm

Die Ausschläge bei Kurve und Volte ($\emptyset$ bis 5 m) waren auf linke und rechte Hand gleich gross und sind deshalb zusammen aufgeführt.
(vgl. Abb. 18, 19, 20)

Proband	Anzahl Messungen	Mittelwerte von min. - max. Abstandsänderung	Gesamtmittelwerte
Pferd 1	12	0,18 - 0,57 mm	0,30 mm
Pferd 2	12	0,03 - 0,12 mm	0,08 mm
Pferd 3	22	0,06 - 0,32 mm	0,19 mm

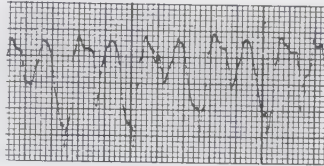
ABSTANDSMESSUNG IM TRAB

Die Kurve im Trab zeigte bei jedem Pferd einen mehr oder weniger deutlichen Zweitaktverlauf.

Trabkurve :

0,22 mm

1 sec



Messtechnik :



Die gemittelten Abstandsänderungen sind in der folgenden Tabelle ersichtlich:

Proband	Anzahl Messungen	Mittelwerte von min. - max. Abstandsänderung	Gesamtmittelwerte M
Pferd 1	17	0,39 - 1,55 mm	0,79 mm
Pferd 2	20	0,03 - 0,58 mm	0,33 mm
Pferd 3	26	0,18 - 0,95 mm	0,35 mm

Die Mittelwerte sind in Abb. 16, die Gesamtmittelwerte in Abb. 15 graphisch aufgetragen.

ABSTANDSMESSUNG IM GALOPP

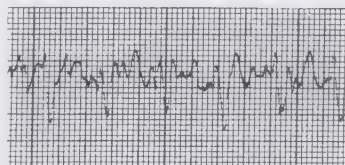
Bei Pferd 2 wurde aus Altersgründen auf eine Galopparbeit verzichtet.

Bei Pferd 1 und 3 erhielten wir folgende Galoppkurven :

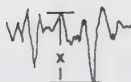
Galoppkurve :

0,22 mm

1 sec



Messtechnik :

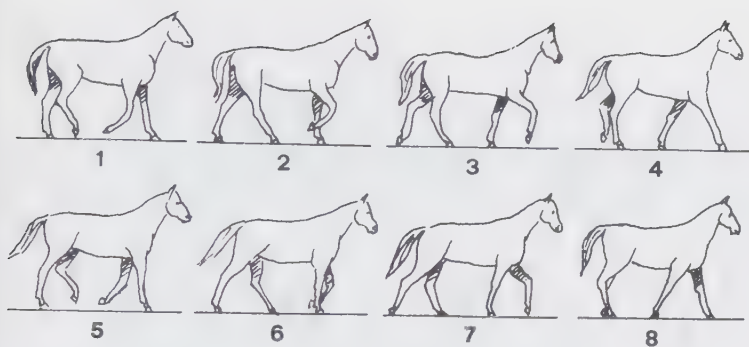


Aus der folgenden Tabelle sind die erhaltenen Mittelwerte und Gesamtmittelwerte ersichtlich (vgl. Abb. 17 und 15).

Proband	Anzahl Messungen	Mittelwerte von min. - max. Abstandsänderung	Gesamtmittelwerte M
Pferd 1	7	0,50 - 1.53 mm	0,77 mm
Pferd 3	7	0,24 - 1.11 mm	0,67 mm

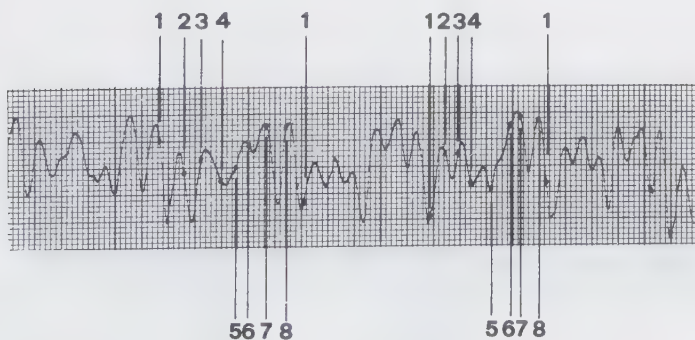
Ergebnisse zur Frage: Können die gemessenen Abstandsänderungen in
Relation zur Lokomotion gesetzt werden ?

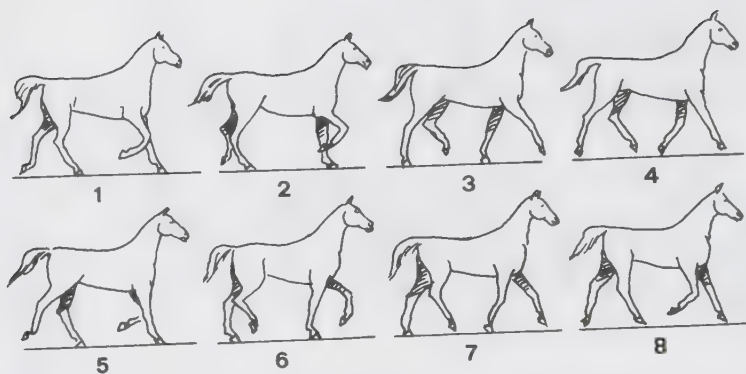
Bei den mit zwei Videokameras aufgenommenen Simultanaufnahmen (Schreiber und Pferd) konnten die Abstandsänderungen eindeutig mit den Bewegungsabläufen in den verschiedenen Gangarten des Pferdes (Nr. 3) in Relation gebracht werden.



Fussfolge im gewöhnlichen Schritt (NICKEL, SCHUMMER, SEIFERLE, 1977)

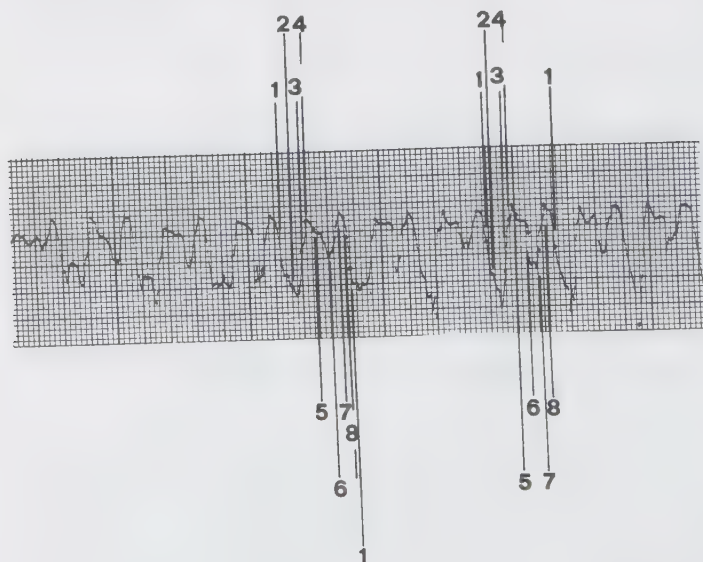
Kurvenausschläge im Schritt :

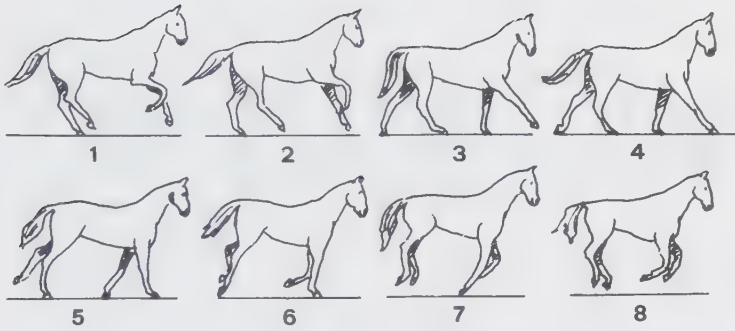




Fussfolge im Mitteltrab (NICKEL, SCHUMMER, SEIFERLE, 1977)

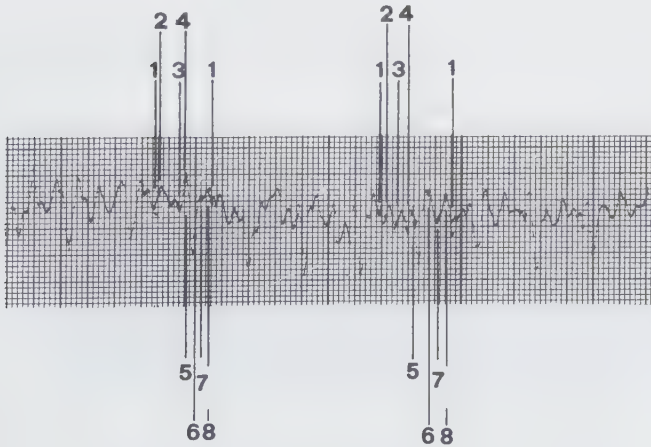
Kurvenausschläge im Trab :

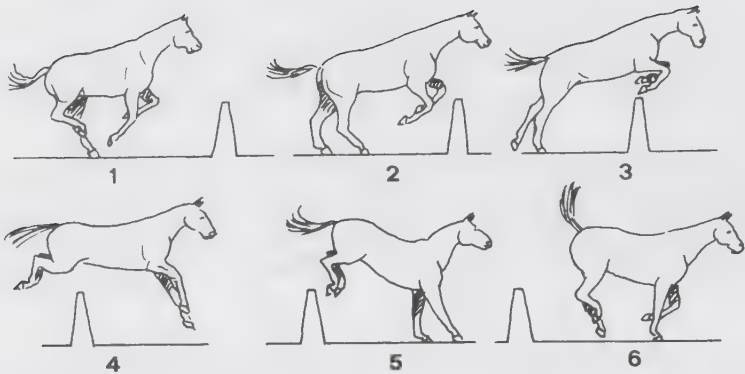




Fussfolge im Mittelgalopp (NICKEL, SCHUMMER, SEIFERLE, 1977)

Kurvenausschläge im Galopp :



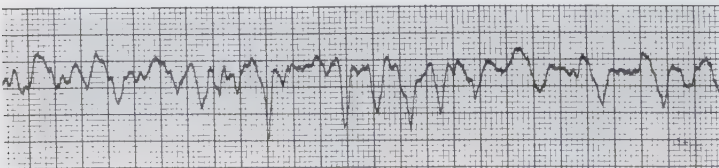


Körperhaltung beim Ueberspringen eines Hindernisses (Rechtsgalopp)
(nach NICKEL, SCHUMMER, SEIFERLE, 1977)

Phase 3 : extreme dorsal-konvexe Halshaltung

Phase 5 : extreme dorsal-konkave Halshaltung

Kurvenausschläge über dem Sprung :



~ 1 - 6

Das Kurvenbild zeigt über dem Sprung einen verlängerten Galoppsprung.

Ergebnisse zur Frage : Kann die Beweglichkeit zwischen zwei Wirbeln durch Hilfszügel beeinflusst werden ?

Hilfszügel sind Vorrichtungen, die den Kopf und den Hals des Pferdes in eine gewünschte Haltung zwingen oder die Halsbewegungen einschränken (z. B. Martingal, Chambon, Schlaufzügel, Ausbindezügel, Overcheck).

Für unsere Messungen wählen wir :

Ausbindezügel : Sie werden vor allem beim Longieren angewandt und beidseits zwischen Trensenring und Longiergurte verschnallt. Sie zwingen das Pferd zu einer dorsal konvexen Halshaltung.

Overcheck : Der Overcheck wird nur bei Trabern oder Passern angewandt. Er wird zwischen Genickstück und Widerriststück des Zuggeschirrs verschnallt. Er zwingt das Pferd zu einer extremen, unnatürlichen Kopfhochhaltung (Hirschhals) und soll ein Angaloppieren verhindern.

ABSTANDSAENDERUNG IM SCHRITT (vgl. Abb. 18, 19, 20) [Gesamtmittelwerte]

Proband	ausgebunden	Overcheck	frei
Pferd 1	0,23 mm	0,18 mm	0,28 mm
Pferd 2	0,10 mm	0,07 mm	0,17 mm
Pferd 3	0,17 mm	0,12 mm	0,20 mm

ABSTANDSAENDERUNG IM TRAB (vgl. Abb. 18, 19, 20) [Gesamtmittelwerte]

Proband	ausgebunden	Overcheck	frei
Pferd 1	0,64 mm	0,46 mm	0,79 mm
Pferd 2	0,23 mm	0,07 mm	0,33 mm
Pferd 3	0,32 mm ,	0,16 mm	0,35 mm

ABSTANDSAENDERUNG IM GALOPP (vgl. Abb. 18,19,20) [Gesamtmittelwerte]

Da der Overcheck ausschliesslich im Trab angewandt wird, wurde auch im Versuch in der Galopparbeit auf den Overcheck verzichtet.

Proband	ausgebunden	frei
Pferd 1	1,23 mm	0,77 mm
Pferd 2	0,33 mm	0,67 mm

4. DISKUSSION

Vergleicht man die erhaltenen Abstandsänderungen mit denen anderer Säugetiere - speziell Hund und Katze (CARLSON et al., 1979, GRAY, 1968, KOSUBEK, 1962, LANG, 1972, MUYBRIDGE, 1899, SLIJPER, 1946) - so kann man die Beweglichkeit in diesem Wirbelsäulenbereich beim Pferd als gering einstufen. Dies wird auch durch verschiedene Autoren bestätigt, obwohl bis anhin nur quantitative Resultate am Skelett vorliegen (CROWHURST, 1975, GRAY, 1968, JACKSON, 1975, JEFFCOTT und DALIN, 1980, KRUEGER, 1939, LICART, 1963, NICKEL, SCHUMMER, SEIFERLE, 1977, ROONEY, 1969, SIMON, 1926, SLIJPER, 1946, WENGER, 1915).

Bei den verschiedenen Kopfhaltungen am stehenden Pferd - oben, normal, unten - resultierte eine Gesamtabstandsänderung von 0,2 mm. Dabei kann man von der Tatsache ausgehen, dass hier eine reine dorso-ventrale Bewegung stattfindet, Lateralflexion und Torsion dagegen entfallen. Da die Messvorrichtung nicht oben auf den Dornfortsatzspitzen, sondern seitlich an den Dornfortsatzflächen befestigt war, ergibt sich nach der Korrektur mittels Strahlensatz (Faktor 1,3) eine Abstandsänderung an der Spitze der Dornfortsätze von 0,26 mm (Pferd 1). Im Vergleich dazu fanden JEFFCOTT und DALIN (1980) bei fünf Skeletten von frisch geschlachteten Vollblütern im gleichen Messbereich eine durchschnittliche Abstandsveränderung von 4,1 mm (maximale Dorsi- bis maximale Ventriflexion).

Obwohl die gemessenen Abstandsänderungen sehr klein sind, zeigen sie doch, dass bei Kopfhochhaltung im Stand eine Näherung der Dornfortsätze und bei Kopftiefhaltung eine Entfernung derselben erfolgt.

Beim Verändern der Kopfhaltung in seitlicher Richtung wurde - aufgrund der Seitenbiegung der Wirbelsäule - bei "Kopf links" eine Dehnung (Ausschlag auf der Kurve nach unten) und bei "Kopf rechts" eine Stauchung (Ausschlag auf der Kurve nach oben) registriert. Da die erhaltenen Abstandsänderungen sich bei Pferd 3 jedoch umgekehrt verhielten, wurde die Rückenlinie anhand der Dornfortsatzspitzen eines nicht im Versuch beteiligten Pferdes markiert und die Körperbewegung bei verschiedenen Kopfhaltungen von oben gefilmt. Dabei war im vorderen Brustbereich eine deutliche Krümmung entgegen der Richtung des Pferdekopfes zu erkennen. Der hintere Brustbereich und die ganze Lende verhielten sich dabei gerade oder zeigten sogar eine leichtgradige Gegenkrümmung. Es ist anzunehmen, dass die hier beobachtete Rumpfkrümmung abhängig ist von der Gewichtsverteilung auf die einzelnen Gliedmassen.

Nach den gefundenen Angaben aus der Literatur (KRUEGER, 1939, SIMON, 1926) wurden im Schritt die grössten Abstandsänderungen erwartet. Dies war allerdings nicht der Fall.

KRUEGER (1939), LICART (1963), NICKEL, SCHUMMER, SEIFERLE (1977), PAALMAN (1981), ROONEY (1978), SIMON (1926) und WRANGEL (1927) beschreiben neben einem rhythmischen Schwingen der Wirbelsäule in dorsoventraler Richtung eine von der Fussfolge abhängige wellenartige Einbiegung zur Seite. Der Grund dieser Horizontalschwingung beruht auf der Notwendigkeit, den Körperschwerpunkt über der Standfläche zu behalten (KRUEGER, 1941, NICKEL, SCHUMMER, SEIFERLE, 1977). Die stärkste Ausdehnung des Bogens erfolgt im Bereich der mittleren Brustwirbelsäule ($T_9 - T_{12}$) während der sagittalen Stützphase (KRUEGER, 1939, LICART, 1963, NICKEL, SCHUMMER, SEIFERLE, 1977). Der Bogenrücken zeigt dabei in Richtung der an der Körperunterstützung beteiligten Beinpaare. Bei den Versuchstieren mit der auf der rechten Seite implantierten Messvorrichtung sollte deshalb bei Stützphase "links" eine Stauchung, bei Stützphase "rechts" aber eine Dehnung

erfolgen. Beim Zuordnen der Kurvenausschläge zu den einzelnen Bewegungsfolgen lässt sich die Erwartung bestätigen. An dieser Stelle muss aber bemerkt werden, dass infolge der exzentrischen Lage der Messvorrichtung bei Lateralflexion ein vom Biegungswinkel abhängiger Messfehler auftritt, der nach WENGER (1915) und eigenen Filmaufnahmen ungefähr berechnet werden kann. Je nach Winkelgrösse beträgt dieser 4 % (bei einem Winkel von 1^0) oder mehr.

Die Messvorrichtung jedoch registriert auch die Abstandsänderungen in dorso-ventraler Richtung. Während der Schwingphase der Vordergliedmassen werden Kopf und Hals gesenkt und beim Stützen wieder gehoben (KRUEGER, 1941, ROONEY, 1978). In der Schwingphase der Hintergliedmassen wird das Becken angehoben und dabei die Lendenwirbelsäule leichtgradig dorsal-konvex gekrümmt (NICKEL, SCHUMMER, SEIFERLE 1977). In beiden Phasen ist eine Abstandsvergrößerung die Folge, was auf den Kurvenstreifen mit einer nach unten führenden Zacke quittiert wird.

Das leicht variierende Kurvenniveau rührt daher, dass der Kopf des im Schritt geführten Pferdes nicht konstant geradeaus gehalten werden konnte. Verschiedene Haltungsänderungen, besonders das Hochhalten bei Erschrecken, wurden auf dem Schreiber mit einem nach oben versetzten Niveau registriert.

Die bei verkürztem Schritt (s. S. 20) durchwegs kleineren Ausschläge mögen daher kommen, dass infolge der Tempoverringerung die Nickbewegungen von Kopf und Hals, die seitliche Biegung des Rumpfes und die Krümmung der Lende stark reduziert werden.

Wenn die Pferde in einem Bogen($1/4$, $1/2$ oder in einem ganzen Kreis, s. S. 20) links oder rechts herum geführt wurden, waren die Ausschläge stets gleich gross. Das ist ein Hinweis dafür, dass die an der Hand geführten Pferde diesen Bogen mit mehr oder weniger geradem Rumpf ausführten und somit keine seitliche Rückenbiegung - wie es sonst bei Reitpferden der Fall ist, die um den "inneren Schenkel gebogen" werden, - aufwiesen.

Im Trab findet ein rhythmischer Wechsel von Füssen der einen Diagonale über eine Schwebephase des Körpers (Loslösen der Vordergliedmasse vom Boden) auf die andere Diagonale statt (LICART, 1963, MUYBRIDGE, 1899, NICKEL, SCHUMMER, SEIFERLE, 1977, SIMON, 1926, WRANGEL, 1927). Dieser regelmässige Zweitakt ist auch aus dem Kurvenverlauf ersichtlich. Nach den Autoren KRUEGER (1939), NICKEL, SCHUMMER, SEIFERLE (1977), WENGER (1915) und ROONEY (1969) fällt die im Schritt ausgeprägte Horizontalschwingung der Wirbelsäule weg, da das Stützen durch die diagonalen Beinpaare erfolgt.

Die in der Tabelle (s. S. 21) aufgeführten Werte zeigen, dass im Trab sehr ausgeprägte Abstandsänderungen auftraten. Bei den synchron geschalteten Videoaufnahmen wurde jeweils in der Schwebephase eine Stauchung und in der Fussungsphase eine Dehnung vom Schreiber registriert. Da anhand der Literatur (KRUEGER, 1939, 1941, LICART, 1963, NICKEL, SCHUMMER, SEIFERLE, 1977, SIMON, 1926, WENGER, 1915) eine dorso-ventrale und eine seitliche Bewegungsmöglichkeit auszuschliessen ist, liegt die Vermutung nahe, dass beim jeweiligen Diagonalwechsel eine Torsion (VIRCHOW, 1914) stattfindet. Dass die aufgezeichneten Ausschläge nicht die gleiche Grösse verzeichneten, mag den Grund darin beinhalten, dass einerseits Pferd 1 eine leichtgradige Trablähmheit hinten rechts aufwies und andererseits die exzentrisch befestigte Messvorrichtung ihrer Lage wegen bei Torsion der beiden Wirbel nicht gleiche Aenderungen angeben kann. Es ist daher anzunehmen, dass in einem Fall (hinten rechts - vorne links) die Messvorrichtung einen zu grossen Abstand, im anderen Fall (hinten links - vorne rechts) einen zu kleinen Abstand mass.

Beim Galopp geht der Impuls für die Vorwärtsbewegung von einer Hintergliedmasse aus (GRAY, 1956), die das Körpergewicht über die Diagonale auf das gegenseitige Vorderbein stemmt. Kopf und Hals führen dabei eine deutliche, nach vorne unten gehende Bewegung aus, die beim Füssen des inneren Vorderbeines und Loslösen des anderen Vorderbeines das tiefste Niveau erreicht (KRUEGER, 1939, 1941, ROONEY, 1978). Auf der aufgezeichneten Kurve ist dies bei Phase 5/6 der Fall. Dieses Ergebnis stimmt demnach mit den Angaben aus der Literatur überein. Dass die Ausschläge bei Pferd

3 kleiner als bei Pferd 1 (s.S. 22 und Abb. 15 und 17) sind, könnte von dem unterschiedlichen Körperbau herrühren. Pferd 3 war kurz und kompakt gebaut (Quadratpferd), Pferd 1 dagegen mit langem Rücken und Lende versehen (Rechteckpferd). Inwieweit minime Einbiegung zur Seite und Torsion hier eine Rolle spielen, ist aus der Literatur nicht ersichtlich, da teilweise gegenteilige Meinungen über das Verhalten des Rumpfes im Galopp bestehen. LICART (1963) beschreibt auch im Galopp eine Biegung der Brustlendenwirbelsäule zur Seite, während KRUEGER (1939, 1941), NICKEL, SCHUMMER, SEIFERLE (1977), ROONEY (1978) und SIMON (1926) die vollständige Stabilisierung der Rumpfbrücke als Notwendigkeit für die Vorwärtsbewegung im Galopp bezeichnen.

Zum Sprung liegen keine Viedoaufnahmen vor, da sich nur Pferd 1 zum Springen eignete, zu diesem Zeitpunkt aber noch keine Aufnahmen vorgesehen waren. Deshalb wurden die Ausschläge auf ein Signal eines Beobachters hin gekennzeichnet. Diese ungenaue Methode erlaubt denn auch nur eine oberflächliche Interpretation der Kurve. Das Absolvieren eines kleinen Hindernisses stellt sich auf dem Schreiber als verlängerter Galoppsprung dar.

In einer resümierenden Beurteilung der dieser Arbeit zugrunde liegenden Messmethode muss betont werden, dass die in drei Bewegungsrichtungen stattfindenden Bewegungen im gemessenen Bereich nicht voneinander getrennt betrachtet werden können. Interessant ist in diesem Zusammenhang der Verlauf der Kratzspur des Stahlstiftes auf dem Anschlag. Anhand dieser Rille ist eine Mischung der dreidimensionalen Bewegung mit Schwerkraft auf Lateroflexion und Torsion zu errahnen. In welchem Moment (Aufwachboxe, Stall, usw.) diese Kratzspur jedoch entstanden ist, lässt sich nicht erklären.

In Berücksichtigung der Temperatureinflüsse bei Messungen mit DMS und wegführenden Leitungen (Fehler < 2%) und der oben erläuterten Schwierigkeit mit Bewegungsdimensionen muss man mit einem Totalmessfehler von 10 % rechnen.

Wie bereits in der Einleitung kurz angedeutet, sind die sogenannten "Kissing spines" neben Weichteilschädigungen die am häufigsten vorkommenden Rückenleiden beim Pferd. Mehrere Autoren beschreiben die Veränderungen an den Dornfortsätzen und empfehlen als Therapie ein Resezieren eines oder mehrerer Dornfortsätze (JEFFCOTT und HICKMANN, 1975, JEFFCOTT, 1980 b, ROBERTS, 1968, VON SALIS und HUSKAMP, 1978). In der Humanmedizin wird dieses Krankheitsbild vor allem bei älteren Leuten im Lendengebiet beschrieben (BROCHER, 1973, HAZLETT, 1964). ROONEY (1979) jedoch sieht nicht an den sich berührenden Dornfortsätzen, sondern weiter unten an den Wirbelgelenken das primäre Uebel. Seiner Meinung nach bewirken die arthrotisch veränderten Wirbelgelenke, die bei älteren Pferde atrophierende Zwischenwirbelscheibe und das teilweise Einreissen des Lig. longitudinale ventrale eine verstärkte Lordose im Sattellagebereich. Erst jetzt können die ohnehin einander sehr nahe liegenden (JEFFCOTT und DALIN (1980) nennen im Gebiet von T₁₀ - 18 Abstände zwischen 3,4 bis 8,1 mm) Schnabeldornfortsätze sich nähern und bei extremer Dorsiflexion der Brust-Lende einander berühren. ROONEY (1979) erklärt den Operationserfolg nach Resektion einzelner Dornfortsätze mit der sehr langen Rekonvalenzzeit.

Die Resultate der vorliegenden Arbeit bestätigen, dass die Abstandsveränderungen zwischen den Dornfortsätzen auch von der Haltung des Halses und der Stellung der Gliedmassen wesentlich beeinflusst werden. Die Tragfähigkeit des Pferderückens kann daher mit Brückentheorien, welche bloss den Brust- und Lendenabschnitt einbeziehen, nicht befriedigend erklärt werden.

5. SCHLUSSBEURTEILUNG

Zurückblickend auf die in 2.2. aufgeführten Modellvorstellungen über die Wirbelsäule kann weder die eine noch die andere Theorie als die richtige hingestellt werden. Beide Theorien weisen Elemente auf, die mit der Architektur des Pferdeskelettes übereinstimmen, aber gleichzeitig tauchen bei beiden auch Konstruktionsnachteile auf, die gegen das natürliche Bauprinzip sprechen.

Bei Theorie 1 entspricht zwar die Richtung der Dornfortsätze derjenigen am Pferdeskelett, nur berühren sich die in der Rückenmitte liegenden Dornfortsätze beim Pferd nicht und dürfen auch bei extremer Dorsiflexion nie als Anschlagelemente dienen. Da in dieser Theorie die Druckelemente unten und die Zugelemente oben liegen, fehlen bei der Einwirkung eines Reitergewichtes die nötigen Gegenkräfte.

Bei Theorie 2 scheint es schwer vorstellbar, wie die relativ schwache Sehne verkörpert durch die Linea alba und Musculus rectus abdominis ein Gegenpart eines derart stark konstruierten Bogens wie die Wirbelsäule darstellen kann. Ein weiterer schwacher Punkt dieser Theorie ist die Tatsache, dass die direkte Verbindung der Sehne mit dem Bogen nur im Bereich des Beckens gewährleistet ist, im vorderen Bereich aber über Sternum-Schultergürtel-Brustkorb nur eine muskulöse Verbindung aufweist. Ferner ist die Wirbelkette von T_1 - L_6 derart geringfügig im Sinne eines Bogens nach dorsal gewölbt, so dass es schlecht verständlich ist, wie die Bauchdecke neben verschiedenen anderen Funktionen auch noch eine teilweise nicht vorhandene Bogenspannung aufrechterhalten soll.

Beide Theorien beschreiben zudem eher statische Momente, die dem Organismus "Pferd" als dynamischen Muskelapparat kaum entsprechen.

Die Ergebnisse dieser Arbeit zeigen deutlich, dass zwischen 2 Wirbeln der Brustwirbelsäule (alle Brustwirbel weisen den gleichen Grundbauplan auf) eine sehr geringe Elastizität in dorso-ventraler und eine

grössere in lateraler Richtung sowie bezüglich Torsion vorhanden ist, was den Rahmen dieser eindimensionalen Modellvorstellungen sprengt. Wie es sich bei der Halswirbelsäule und Lendenwirbelsäule verhält, kann nur errahnt werden, da diese Wirbel andere Gelenkstypen aufweisen als diejenigen der gemessenen Wirbel T_{15} und T_{16} . Es ist vielmehr anzunehmen, dass die Wirbelsäule einen "kompliziert gebauten, elastischen Stab" darstellt, der durch passive Strukturen in seiner Form gehalten wird. Dieser "Stab" - beginnend beim Hinterhauptsbein - hat eine elastische Verbindung hinab bis zu den impulsgebenden Hinterbeinen. Als Paradebeispiel dürfte wohl das unter dem Reiter in völliger Losgelassenheit gehende, versammelte Dressurpferd sein, bei dem die Hinterhand stark unter den Rumpf geschoben wird, um so die Vorhand maximal zu entlasten. Durch diese starke Biegung in den Hanken wird der Pferdekörper zu einer harmonischen Einheit und lässt den Reiter auch bei verstärkten Tempi und schwierigsten Figuren bequem und ruhig sitzen. In diesem Falle dienen die Muskeln nur der Vorwärtsbewegung, da das Reitergewicht nicht als störend empfunden wird. Wenn diese Losgelassenheit nicht erreicht wird, wenn Hilfszügel und Unverständnis des Reiters die Reitweise dirigieren, geht die schwingvolle Harmonie verloren, der elastische Körper - der Rücken - wird durch Muskelkontraktionen in seinen Schwingungen gehemmt, der Reiter empfindet die Gangart - vor allem den Trab - als hart und wird durchgeschüttelt. Das sich Wehren des derart falsch gerittenen oder bereits verittenen Pferdes wird in der Folge als Rückenleiden gedeutet und der vermeintliche Rückenpatient dem Tierarzt vorgestellt.

Sicher dürfte es falsch sein, ein derart vielseitiges, dynamisches System - wie es die Wirbelsäule darstellt - mit einem eindimensionalen Brückenmodell zu erklären. Um weitere Angaben machen zu können, müsste man - da jetzt bekannt ist, dass nicht Abstandsänderungen von mehreren mm, sondern vielmehr solche von Bruchteilen von mm vorkommen - feinfühligere Messinstrumente verwenden, die zusätzlich die einzelnen Bewegungsrichtungen (Dorsi- und Ventriflexion, Lateralflexion und Torsion) getrennt registrieren. Ausserdem wäre es für die Interpretation wichtig, wenn weitere Lokalisationen berücksichtigt und ein grösseres Pferdekollektiv auch mit einem Reitergewicht in Betracht gezogen werden könnten.

6. ZUSAMMENFASSUNG

Mit Hilfe einer neu entwickelten Messvorrichtung wurden an drei Versuchspferden die Abstandsänderungen zwischen den Dornfortsätzen T_{15} und T_{16} im Stand, im Schritt, im Trab, im Galopp und im Sprung gemessen.

Neben den minimalen Bewegungen in dorsoventraler Richtung wurden zudem Abstandsänderungen infolge Lateralflexion und Torsion der Wirbelsäule registriert. Es ergaben sich am stehenden Pferd durchschnittliche Abstandsänderungen von maximaler Kopf-Tiefhaltung (Fresshaltung) zu maximaler Kopf-Hochhaltung (Hirschhals) von 0,08 bis 0,26 mm. Beim sich bewegenden Pferd resultierten durchschnittliche Abstandsänderungen von 0,17 bis 0,28 mm im Schritt, 0,33 bis 0,79 mm im Trab und 0,67 bis 0,77 mm im Galopp. Im Sprung wurden die Resultate nur qualitativ ausgewertet. Hier gleicht die Art der Kurve einem verlängerten Galoppsprung.

Die Kurven einer bestimmten Gangart wiesen immer eine ähnliche Charakteristik auf und konnten mit Hilfe von Synchronaufnahmen in Relation zur Bewegung gesetzt werden.

Die Verwendung von Hilfszügeln (Ausbindezügel und Overcheck) verringerten die Abstandsänderungen.

Die Vor- und Nachteile zweier in der Literatur beschriebenen Wirbelsäulenmodelle werden diskutiert und einem eigenen Modell gegenübergestellt.

Die Resultate der vorliegenden Arbeit bestätigen, dass die Abstandsveränderungen zwischen den Dornfortsätzen von der Haltung des Halses und der Stellung der Gliedmassen wesentlich beeinflusst werden. Die Tragfähigkeit des Pferderückens kann daher mit Brückentheorien, welche bloss den Brust- und Lendenabschnitt der Wirbelsäule einbeziehen, nicht befriedigend erklärt werden.

7. BILDEIL

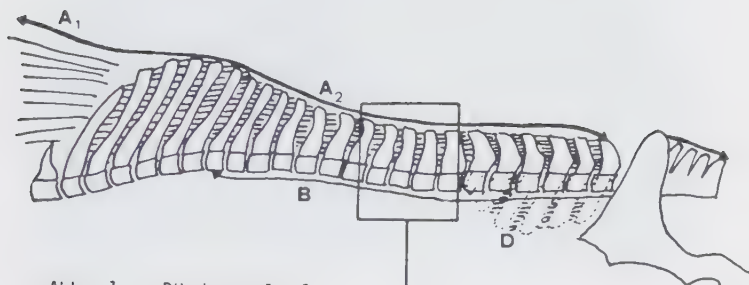


Abb. 1 : Bänderverlauf

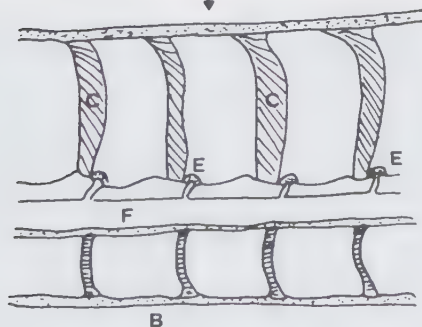
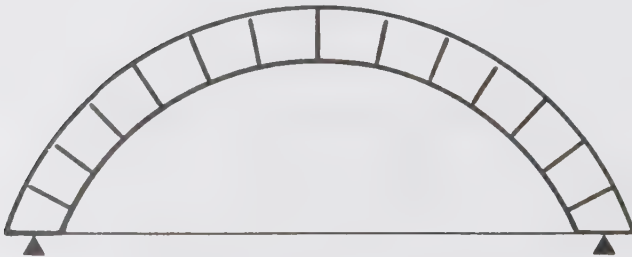


Abb. 2 : Ausschnitt

- A₁, A₂ Lig. nuchae und Lig. supraspinale
- B Lig. longitudinale ventrale
- C Ligg. interspinalia
- D Ligg. intertransversaria
- E Ligg. flava
- F Lig. longitudinale dorsale



Modell 1 (KRUEGER, 1939, ZSCHOKKE, 1892)



Modell 2 (BADOUX, 1975, BARTHEZ, 1798, SLIJPER, 1946,
STRASSER, 1913)

— Zugelmente
— Druckelmente

Abb. 3 : Brückenkonstruktionen

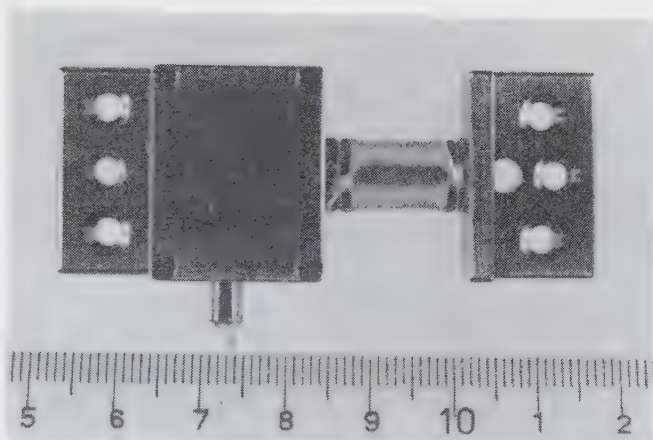


Abb. 4 : Messvorrichtung

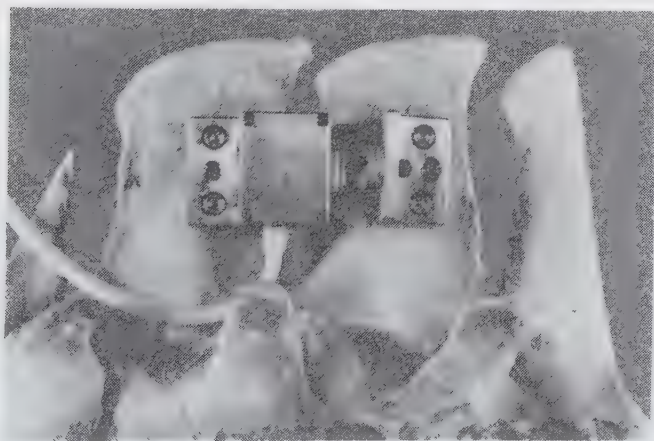


Abb. 5 : Messvorrichtung aufgeschraubt (Pferd 1)

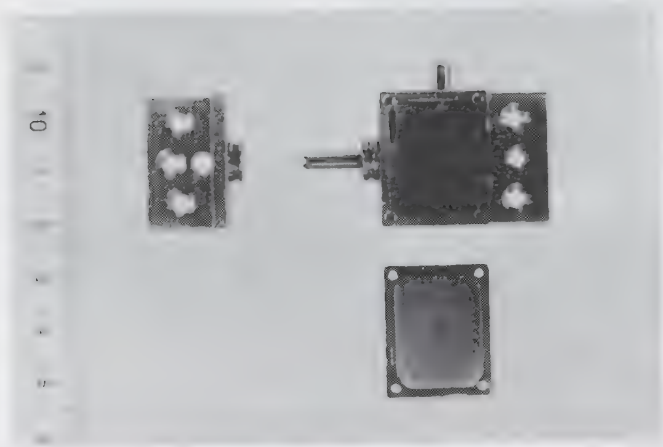
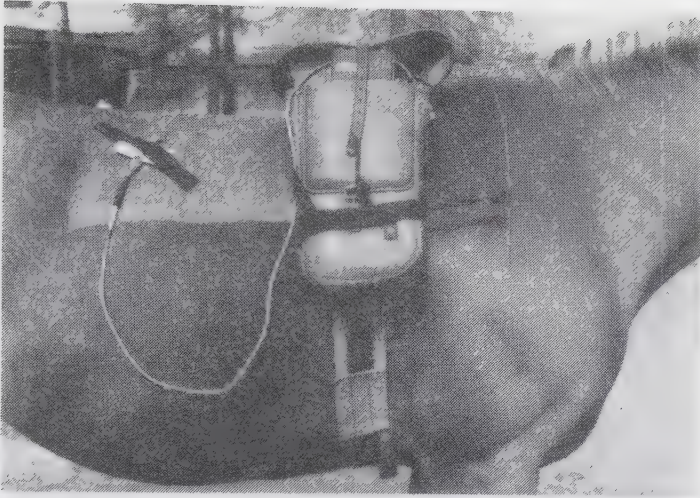


Abb. 6 : Messfühler, Deckel entfernt



Abb. 7 : Versuchspferd 3 mit Satteltaschen
Satteltasche links: Sender



Satteltasche rechts : Brückenverstärker

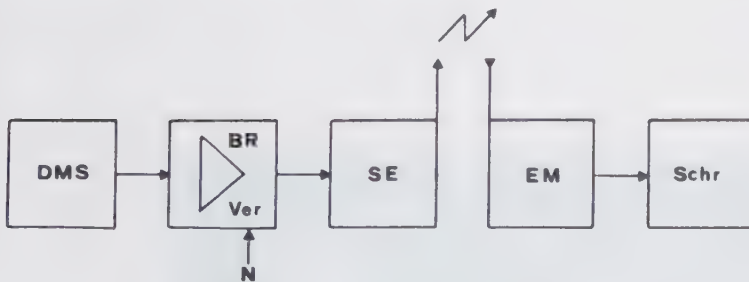


Abb. 8 : Blockschema der Schaltung

DMS : Messfühler mit Dehnungsmesstreifen
BR Ver : Brückenverstärker mit automatischem Nullabgleich (N)
SE : Sender
EM : Empfänger
Schr : Thermoschreiber

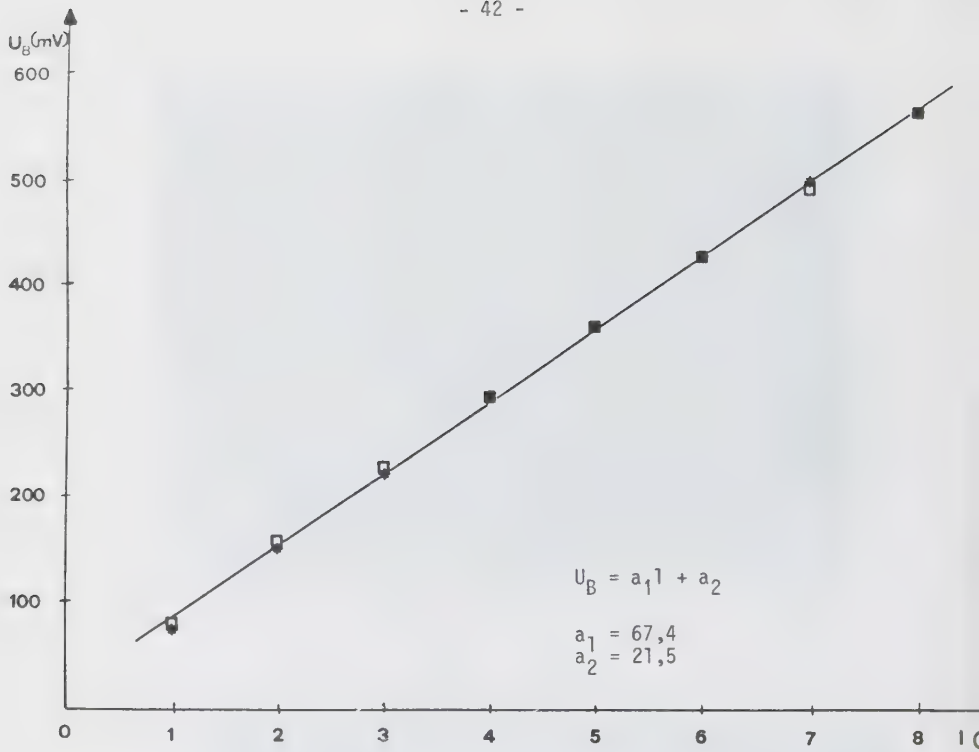


Abb. 9 : Eichkurve 1 (leicht sigmoider Verlauf in den Randbereichen)

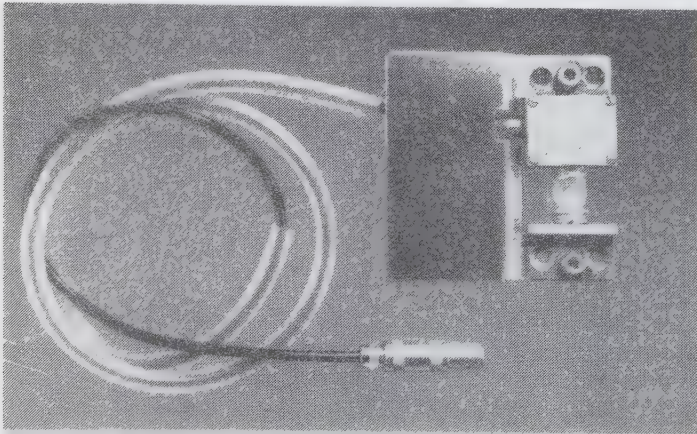


Abb. 10 : Messvorrichtung auf Vorspannbügel verschraubt

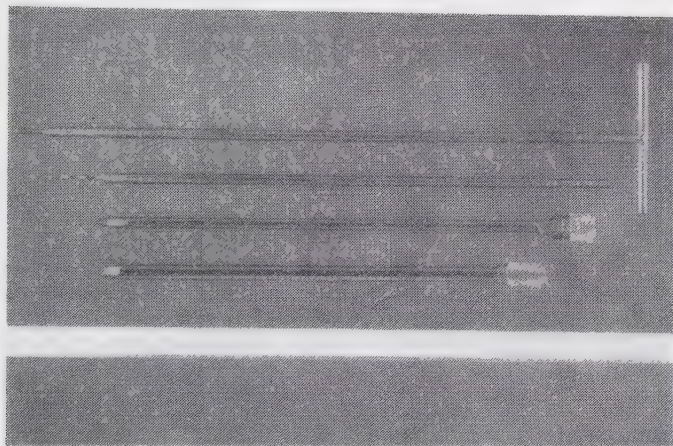


Abb. 11 : Spezialinstrumente

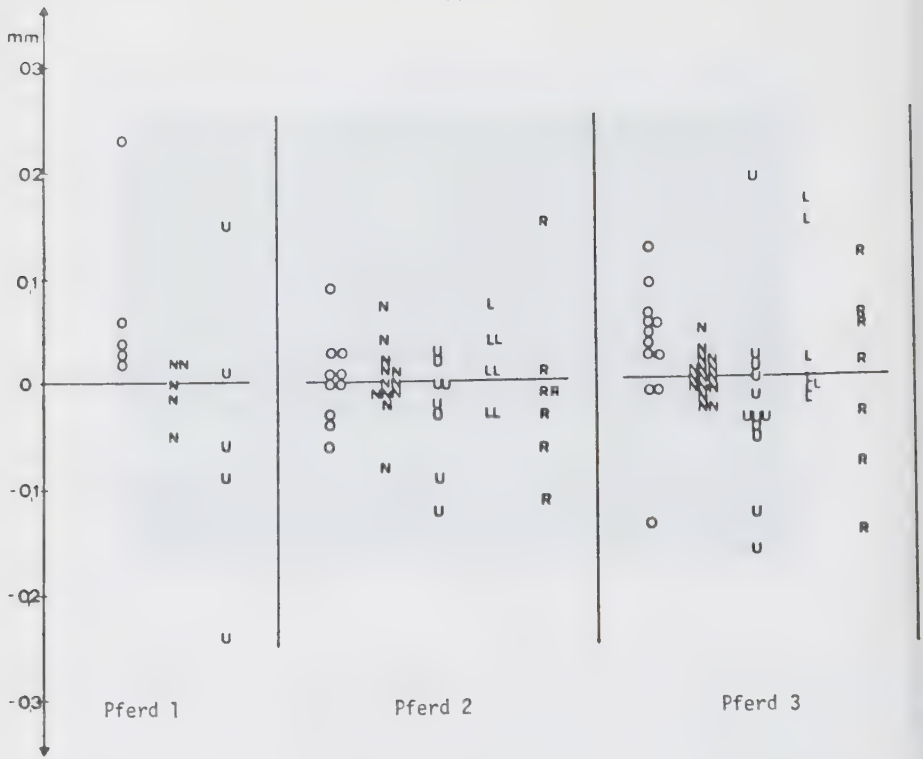


Abb. 12 : Graphische Darstellung der mittleren Abstandsänderungen bei verschiedenen Kopfhaltungen am stehenden Pferd.

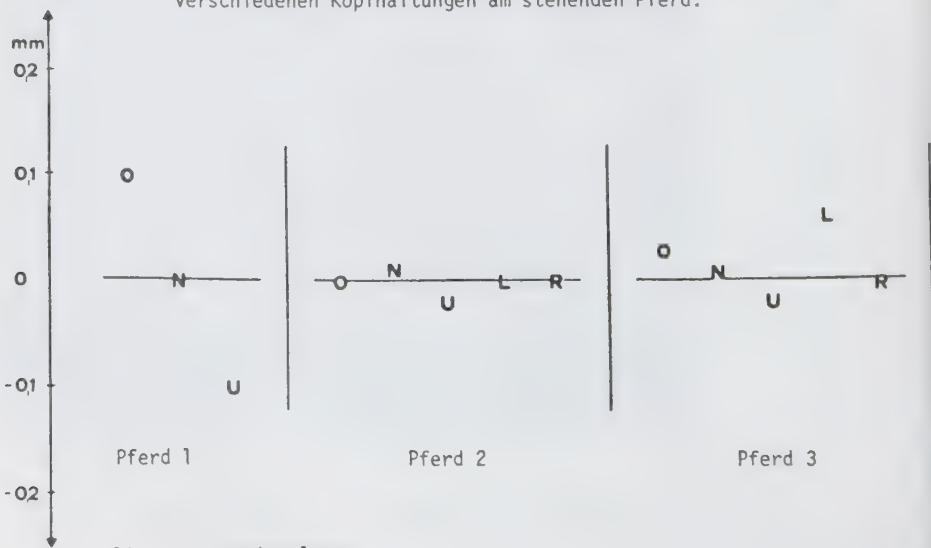


Abb. 13 : Gesamtmittelwerte

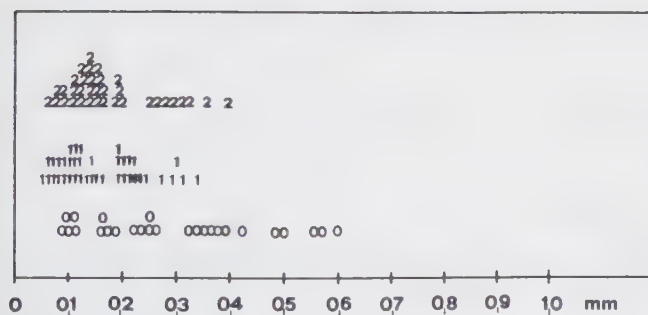


Abb. 14 : Mittelwerte der Abstandsänderungen im Schritt

- o Pferd 1
- 1 Pferd 2
- 2 Pferd 3

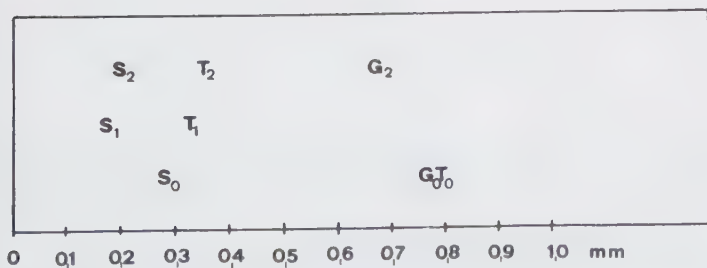


Abb. 15 : Gesamtmitelwerte der Abstandsänderungen im Schritt (S), Trab (T) und Galopp (G). Weitere Symbole s. Abb. 14.

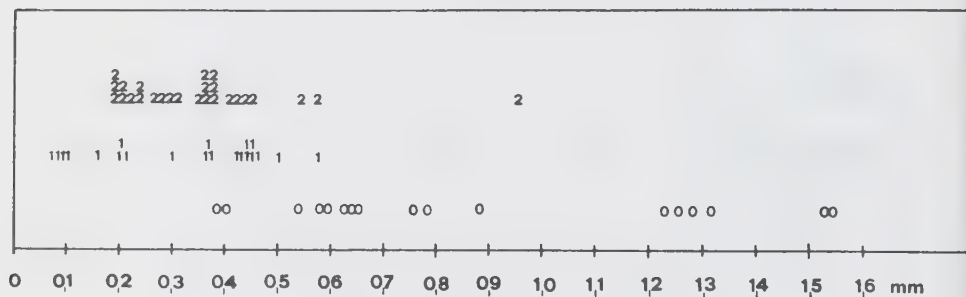


Abb. 16 : Mittelwerte der Abstandsänderungen im Trab.
Symbole s. Abb. 14

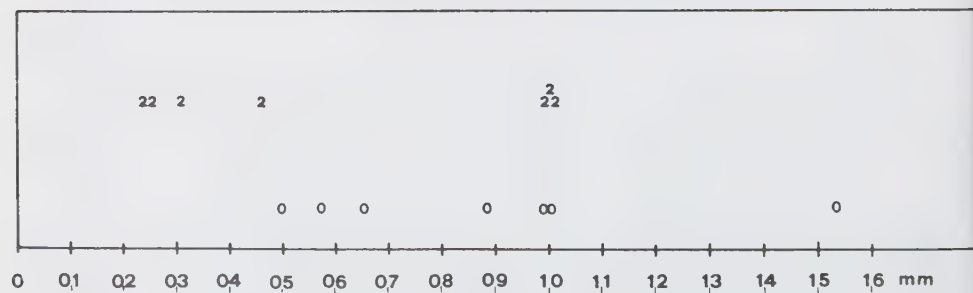


Abb. 17 : Mittelwerte der Abstandsänderungen im Galopp.
Symbole s. Abb. 14

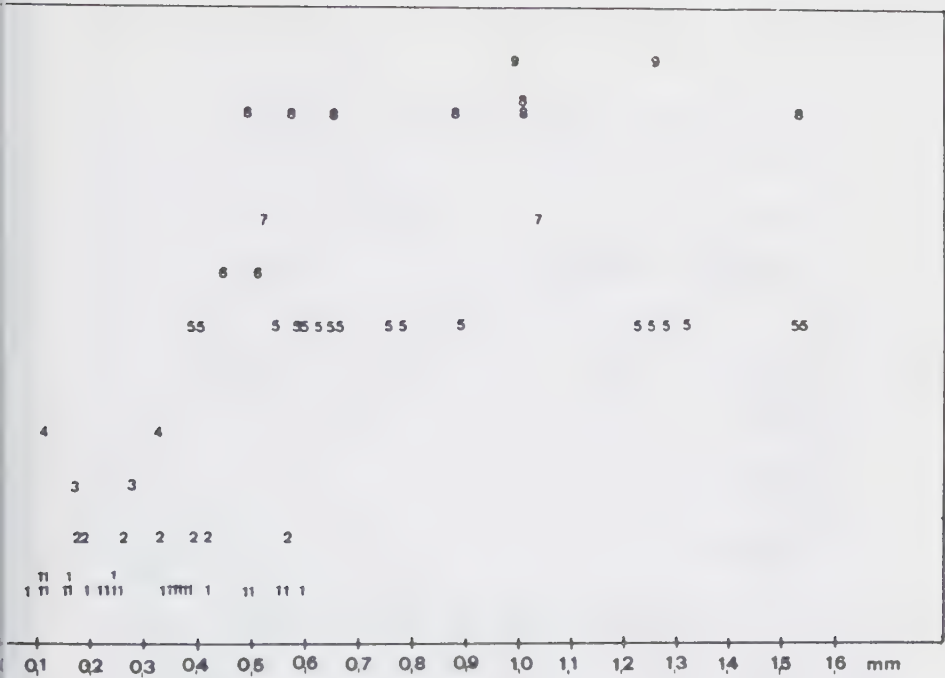


Abb. 18 a : Mittelwerte der Abstandsänderungen von Pferd 1

- | | |
|-----------------------------|--------------------------|
| 1 Schritt an Hand und Longe | 5 Trab an Hand und Longe |
| 2 Schritt Kurve/Volte | 6 Trab mit Overcheck |
| 3 Schritt mit Overcheck | 7 Trab ausgebunden |
| 4 Schritt ausgebunden | |
| 8 Galopp an Longe | |
| 9 Galopp ausgebunden | |

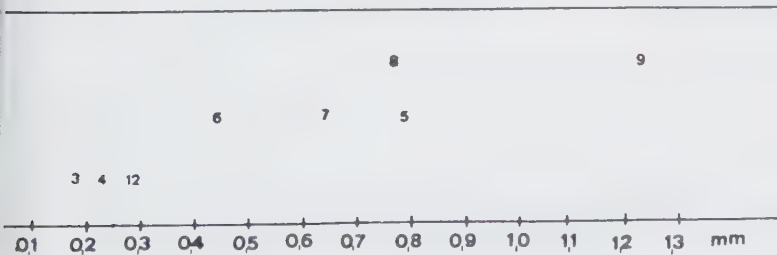


Abb. 18 b : Gesamtmittelwerte der Abstandsänderungen von Pferd 1
Symbole s. Abb. 18 a

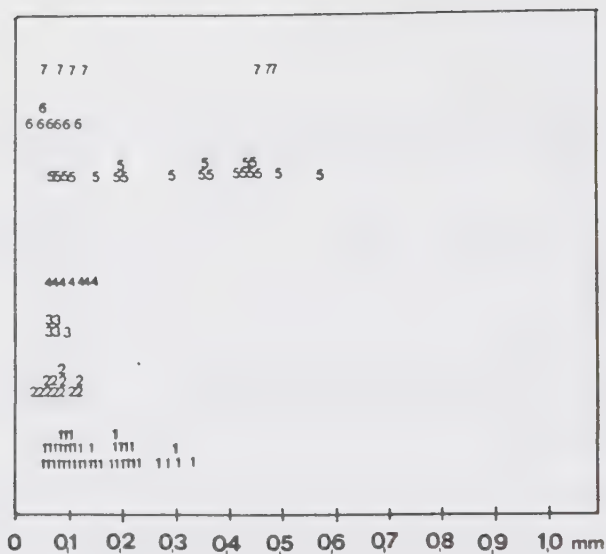


Abb. 19 a : Mittelwerte der Abstandsänderungen von Pferd 2
Symbole s. Abb. 18 a

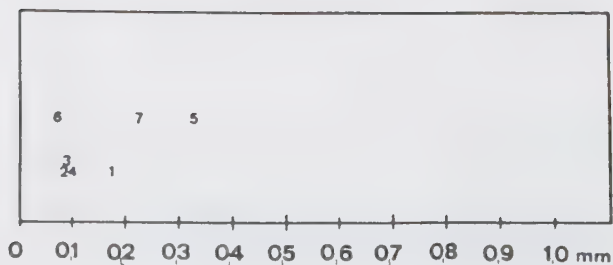


Abb. 19 b : Gesamtmittelwerte der Abstandsänderungen von Pferd 2
Symbole s. Abb. 18 a

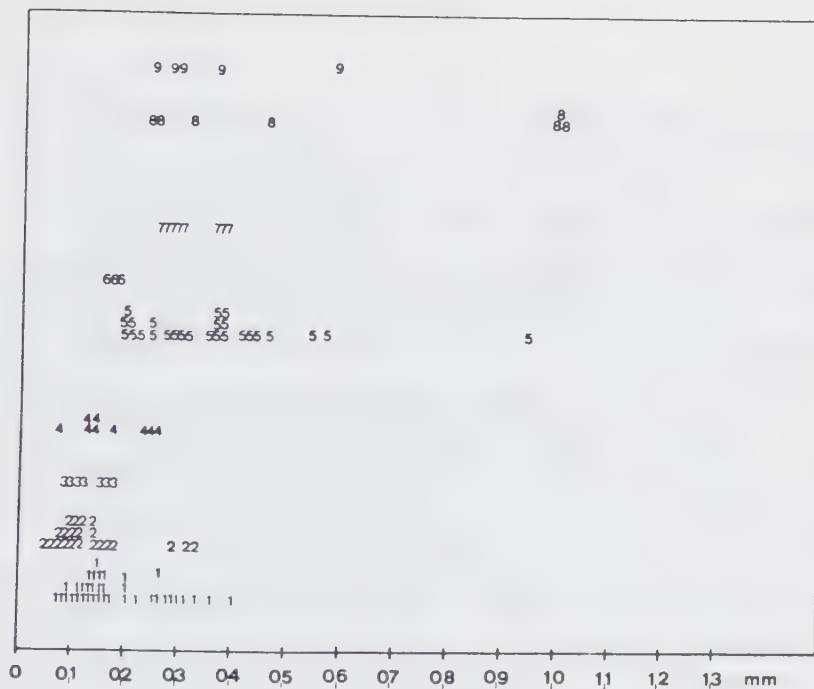


Abb. 20 a : Mittelwerte der Abstandsänderungen von Pferd 3
Symbole s. Abb. 18 a

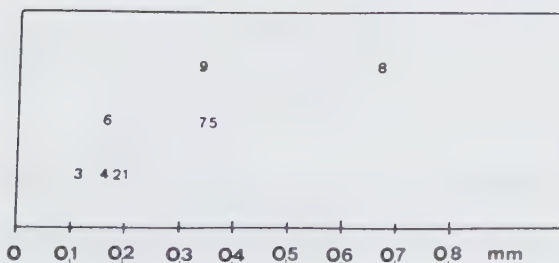


Abb. 20 b : Gesamtmittelwerte der Abstandsänderungen von Pferd 3

8. LITERATURVERZEICHNIS

- Adams, O.R. (1974): Lameness in Horses, 3. Auflage, Lea & Febiger Verlag, Philadelphia.
- Badoux, D.M. (1975): General biostatics and biomechanics. In : Sisson and Grossman's "The Anatomy of Domestic Animals, 5. Aufl., S. 63-78, R. Getty, W.B.Saunders & Co, Philadelphia, USA
- Barthez, P.J. (1798): Nouvelle mécanique de l'homme et des animaux. Paris
- Barsotti, B.M. (1975): Clinical and Radiological Features of Lesions involving the Spine in the Horse. Annali della Facolta' di Medicina Veterinaria di Pisa 28, 221 - 252.
- Brocher (1973) : Die Prognose der Wirbelsäulenleiden. Georg Thieme Verlag, Stuttgart.
- Carlson, H. et al. (1979) : Control of the Trunk during Walking in the Cat. Acta physiol. scand. 105, 251 - 253.
- Crowhurst, R.C. (1975) : Symposium on Back Problems in the Horse. Equine Vet. J. 7, (2), 66 - 68.
- Ellenberger und Baum (1974) : Handbuch der vergleichenden Anatomie der Haustiere. 18. Auflage, Springer Verlag, Berlin
- Gray, J. (1956): Muscular Activity During Locomotion. Brit. Med. Bull. 12, 203 - 209.
- Gray, J. (1968): Animal Locomotion. Kapitel 10 (Mammals). Weidenfeld u. Nicholson, London.
- Hazlett, J.W. (1964): Kissing Spines. J. Bone Jt. Surgery, 46, 1368 - 1369.
- Hebeler, W.-G. (1977) : Die funktionelle Röntgenuntersuchung der Halswirbelsäule des Pferdes unter Berücksichtigung der spinalen Ataxie. Diss. München.
- Herrod-Taylor, E.E. (1967): A Technique for Manipulation of the spine on Horses. Vet. Rec. 81, 437 - 439.
- Jackson, R.K. (1975) : Diseases of the Horse's spine - comparative aspects. Equine Vet. J. 7, (2), 79 - 80
- Jeffcott, L.B. und Hickmann, J. (1975): The Treatment of Horses with Chronic Back Pain by Resecting the Summits of the impinging Dorsal Spinous Processes. Equine V. J. 7, (3), 115 - 119.
- Jeffcott, L.B.(1975 a) : The Diagnosis of Diseases of the Horse's Back. Equine Vet. J. 7, (2), 69 - 78.
- Jeffcott, L.B.(1975 b) : Radiographic Examination of the Equine Back Case. J. of the South Afr. Vet. Ass. 46, 133 und 136-
- Jeffcott, L.B.(1978) : Klinische und röntgenologische Diagnostik der Wirbelsäulenerkrankungen des Pferdes. Der prakt. Tierarzt 4, 272-281.

- Jeffcott, L.B. (1979a): Back Problems in the Horse - a Method of clinical examination. In Practice 1, (5), 4 - 15
- Jeffcott, L.B. (1979b): Back Problems in the Horse - A Look at Past, Present and Future Progress. Equine Vet. J. 11, (3), 129 - 136.
- Jeffcott, L.B. und Dalin, G. (1980): Natural Rigidity of the Horse's Backbone. Equine Vet. J. 12, (3), 101 - 108.
- Jeffcott, L.B. (1980a): Disorders of the Thoracolumbar Spine of the Horse - A Survey of 443 Cases. Equine Vet. J. 12, (4), 197 - 210.
- Jeffcott, L.B. (1980b): Guidelines for the Diagnosis and Treatment of Back Problems in the Horses. Proc. Am. Ass. Equine Practitioner 26, 381 - 387.
- Jeffcott, L.B. (1981): Diagnosis of Back Problems in the Horse. The Compendium of Cont. Educ. 3, (4), 134 - 143.
- Kosubek, H.K. (1962) : Untersuchungen über die Bewegungsvorgänge des russischen Windhundes (Barsoi). Diss. Giessen.
- Krüger, W. (1939) : Ueber die Schwingungen der Wirbelsäule - insbesondere der Wirbelbrücke des Pferdes während der Bewegung; Berl. und Münchn. Tierärztl. Wochenschrift, 13, 197 - 203.
- Krüger, W. (1941) : Ueber das Verhalten des Schwerpunktes bei der normalen Fortbewegung des Pferdes. Tierärztl. Rundschau 12, 147 - 166.
- Kummer, B. (1959) : Bauprinzipien des Säugetierskelettes. G. Thieme Verlag, Stuttgart.
- Kummer, B. (1960) : Beziehungen zwischen der mechanischen Funktion und dem Bau der Wirbelsäule bei quadrupeden Säugetieren. Zeitschrift f. Tierz. und Zücht. biol. 74, 159 - 167.
- Lang, B. (1972) : Bewegungsmessungen an der Wirbelsäule von Hund und Katze. Diss. Giessen.
- Licart, Cdt. (1963) : Equitation raisonnée. J. Delmas et Cie, Frankreich.
- Mitchel, W.M. (1933) : Some Aspects of the General Osteoarthritic Problem in the Horse. Vet. Rec. 13, (38), 918 - 924.
- Muybridge, E. (1899) : Animals in Motion : An Electrophotographic Investigation of Consecutive Phases of Animal Progressive Movements. Chapman & Hall, London.
- Nickel, Schummer, Seiferle (1977) : Lehrbuch der Anatomie der Haustiere I. 4. Aufl. P.Parey Verlag, Berlin und Hamburg
- Paalmann, A. (1981) : Springreiten. 5. Aufl. Franckh'sche Verl., Stuttgart.
- Roberts, E.J. (1968) : Resection of Thoracic or Lumbar Spinous Processes for the Relief of Pain responsible for Lameness and some other locomotor disorders of Horses. Proc. Am. Ass. Equine Practitioner, 14, 13 - 30.
- Rooney, J.R. und Prickett, M.E. (1967): Congenital Lordosis of the Horse. The Cornell Vet. 57, (2), 417 - 428.
- Rooney, J.R. et al (1969): Sacroiliac Luxation in the Horse. Equine Vet. J. 1, 287 - 289.

- Rooney, J.R. (1969): Biomechanics of Lameness in Horses. Williams and Wilkins, Baltimore.
- Rooney, J.R. (1972): Etiology of the wobbler syndrome. Mod. Vet. Pract. 53, (9), 42.
- Rooney, J.R. (1978): The Role of the Neck in Locomotion. Mod. Vet. Pract. 59, 211 - 213.
- Rooney, J.R. (1979): Die Lahmheiten des Pferdes. L.B. Ahnert Verlag, Friedberg.
- Salis, v.B. und Huskamp, B. (1978): Vorläufige Erfahrungen mit der konservativen und chirurgischen Behandlung der Wirbelsäulenerkrankungen der Pferde. Der prakt. Tierarzt 4, 281 - 284.
- Simon (1926): Anatomische Bemerkungen zu den im St. Georg über die Rückentätigkeit eines richtig gehenden Pferdes und über Versammlung erschienenen Artikeln. Zeitschr. f. Vet. Kunde 4, 97 - 109.
- Slijper, E.J. (1946): Comparative Biologic-Anatomical Investigations on the Vertebral Column and Spinal Musculature of Mammals. Kon. Ned. Akad. Wet., Verh. (Tweede Sectie), 42, (5), 1 - 128.
- Stecher, R.M. und Goss, L.J. (1961): Ankylosing Lesions of the Spine. J. Am. Vet. med. Ass. 138, (5), 248 - 255.
- Stecher, R.M. (1962): Anatomical Variations of the Spine in the Horse. J. of Mamm. 43, (2), 205 - 219.
- Strasser, H. (1913): Lehrbuch der Muskel- und Gelenkmechanik. Bd. II, spez. Teil, J. Springer, Berlin.
- Toucedo, G.A. (1972): Arthropathics of the Spine in Horses. Revista de Medicina Vet. (Buenos Aires), 53, (6), 551 - 559.
- Virchow, H. (1914): Ueber die Gelenkfortsätze der Wirbelsäule. Verh. der anat. Ges., Erg.h. z. Bd. 46 des Anat. Anzeigers, 129 - 137.
- Wenger, F. (1915): Beitrag zur Anatomie, Statik und Mechanik der Wirbelsäule des Pferdes. Arch. Entw. mech. Organ, 41, 371 - 429.
- Wrangel, C.G. (1927): Das Buch vom Pferde. Bd. 1 und 2, 6. Aufl. Verlag von Schickhardt und Ebner, Stuttgart.
- Zschokke, E. (1892): Weitere Untersuchungen über das Verhältnis der Knochenbildung zur Statik und Mechanik des Vertebratenskelettes. Preisschrift Zürich.

Mein bester Dank gilt

- Herrn Prof. Dr. A. Müller für die Ueberlassung des Themas, seine grosszügige Unterstützung und die anregenden Diskussionen,
- Herrn Prof. Dr. J. Frewein für die Durchsicht der Arbeit und das Korreferat,
- Herrn Th. Wiestner, El.- Ing. HTL, für die grosse Einsatzbereitschaft bei der Lösung aller technischer Probleme,
- Herrn Dr. Ch. Fricker und Herrn Dr. W. Riek für die Unterstützung bei der Durchführung der Versuche,
- Herrn Wegmann für die Organisation und Durchführung der Film-aufnahmen,
- Frau Hug und Herrn Schaub für das Anfertigen der Photographien,
- meiner Frau für die Mithilfe beim Anfertigen der graphischen Darstellungen und für die Reinschrift des Manuskriptes.

Mein herzlicher Dank gilt aber auch allen anderen ungenannten Helfern, die zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben.

Lebenslauf

Name : Eugène Claude Fauquex
Heimatort : Riex und Lutry, Zürich
Geboren : 30.12.1952 in Zürich
Eltern : Eugen Fauquex
 Ursula Fauquex, geb. Preisig
Heirat : 1979 mit Claudia Maier

Schulen : 1960 - 1966 Primarschule in Zürich und Wädenswil
 1966 - 1972 Gymnasium Freudenberg
 1972 Matura Typus B

Studium : 1973 - 1978 Studium der Veterinärmedizin an der
 Universität Zürich
 1978 Staatsexamen

1979 - 1981 Assistent bei der Veterinär-chirurgischen
 Klinik der Universität Zürich

